This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

NCES

(193)

ÉTUDES

SUR

L'AÉROSTATION.

IMPRIMERIE DE BACHELIER, rue du Jardinet, 12.

ÉTUDES

SUR

L'AÉROSTATION,

PAR

M. EDMOND MAREY-MONGE.

La découverte de l'hydrogène par Cavendish, en 1777, et l'invention des aérostats par Montgolfier, en 1783 (à six ans d'intervalle !), sont deux faits très-importants à joindre à tant d'autres de la fin du siècle dernier, qui concourront, par les germes qu'ils renferment, à faire de cette époque une des plus fécondes de l'histoire du monde. La singulière proximité des dates de ces deux précieuses découvertes, qui devaient s'aider mutuellement, ne semble-t-elle pas un appel fait par la Providence à l'humanité pour la convier à une nouvelle sphère d'activité, à la conquête de l'atmosphère? (Page 21, fin de la 1re condition.)

PARIS,

BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,

DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES, ETC.,

QUAI DES AUGUSTINS, 55.

1847.

Eng 5508.47

HARVARD COLLEGE
MAR 17 1920
LIBRARY

Degrand fund

A

M. ARAGO,

Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences.

Monsieur,

Vous permettrez à l'un des Petits-Fils de Monge, dont vous avez récemment raconté la vie, de vous témoigner sa reconnaissance, en vous dédiant ces Études sur l'Aérostation, *qui d'ailleurs ont pris leur source dans votre savante Notice scientifique sur le Tonnerre.*

Veuillez agréer, Monsieur, l'expression de la haute considération et des sentiments distingués et affectueux

De votre très-dévoué serviteur,

Edmond MAREY-MONGE.

BUT DE CET OUVRAGE.

Que faut-il attendre de l'aérostation?

Cette magnifique découverte, une des plus glorieuses de l'esprit humain, doit-elle rester stérile?

La navigation aérienne est-elle une chimère, oui ou non?

Telles sont les questions qui nous ont poussé et guidé dans les recherches dont ce livre renferme la substance.

Ces recherches, disons-le dès à présent, nous ont convaincu que l'impossibilité de la *navigation aérienne* était encore à démontrer; et que s'il s'est rencontré, en 1783, un Montgolfier pour ruiner l'assertion émise, un siècle auparavant, par un savant des plus estimés (1), qu'*il n'était pas donné à l'homme de pouvoir s'élever dans les airs*, il pourrait bien aussi surgir un autre Montgolfier pour démentir ceux qui nient la possibilité de la *navigation aérienne*. Sans doute,

(1) Borelli, dans son ouvrage *de Motu Animalium*.

presque tout est à créer, des difficultés immenses sont à vaincre; mais que l'on en vienne seulement à faire des expériences sérieuses, et bientôt on verra la science aéronautique grandir, franchir les obstacles et marcher victorieusement en avant.

Le but de cet ouvrage n'est pas de donner un traité complet d'aérostation, mais seulement d'établir les diverses conditions de la navigation aérienne, de les étudier et de les développer, en rapportant ce qui a été fait et publié de plus remarquable, de plus saillant sur la matière; en indiquant les nombreuses recherches à faire et les questions à traiter; en signalant les expériences à tenter, les difficultés à résoudre : c'est dire que cet ouvrage suppose au lecteur certaines connaissances en aéronautique, certaines notions scientifiques.

Nous avons divisé notre travail en trois parties :

La première contient les études sur les *diverses conditions de la navigation aérienne;*

La deuxième, *la construction d'un ballon de cuivre;*

Et la troisième, *des notes complémentaires* sur les questions qui se rattachent aux deux premières parties.

INTRODUCTION.

S'il est dans le génie de l'homme de soumettre à sa puissance toutes les forces que la nature a mises à sa portée, il est dans sa destinée de voir croître indéfiniment cette puissance. C'est ainsi qu'après avoir successivement dompté les animaux, défriché la terre, fouillé ses entrailles, l'homme a toujours vu s'accroître le nombre de ses conquêtes; mais toutes n'ont pas été réalisées sans de pénibles labeurs, sans de douloureux sacrifices.

L'eau par exemple, la mer surtout n'a subi son joug qu'après de longues et périlleuses tentatives.

Le premier qui osa s'aventurer sur les flots et s'écarter des côtes dut s'exposer à de grands dangers. Et par combien de peines, de fatigues, de tâtonnements, de sinistres n'a-t-il pas fallu passer pour arriver de l'imperfection de la marine des temps primitifs à l'invention de la boussole, puis à cette belle et majestueuse construction de la marine militaire, puis enfin à cette admirable application de la vapeur à la navigation, dont le monde fut redevable au génie de Fulton, de cet homme que la France ne voulut pas se donner la peine de comprendre!

S'il n'a pas fallu moins de quarante siècles à l'esprit humain pour en arriver là, que l'on juge, d'après ces résultats, du rôle que joue le temps dans les progrès de toutes choses en général, et de celui qu'il jouera dans la marche de l'aérostation en particulier.

L'air, à son tour, semblait défier les efforts de l'homme; c'était en vain que depuis les époques les plus reculées jusqu'à nos jours pour ainsi dire, bien des mécaniciens s'étaient ingéniés à trouver le moyen de s'élever dans l'atmosphère: tous avaient échoué et devaient échouer; car le problème qu'ils cherchaient à résoudre était sinon insoluble, au moins fort difficile. L'air, semblable à cette haute montagne des Alpes qu'on appelle la jeune Vierge, parce qu'aucun voyageur n'avait encore pu la gravir; l'air, disons-nous, semblait devoir rester vierge et résister à toutes les tentatives: eh bien, Montgolfier parut; et Christophe Colomb d'un monde nouveau, il est venu nous apprendre que l'homme pouvait désormais compter l'air au nombre de ses conquêtes.

L'invention de Montgolfier a subi la destinée ordinaire des choses humaines; car, accueillie d'abord avec enthousiasme, elle n'excita plus, après la période révolutionnaire, que de la curiosité, et bientôt même on en vint à l'indifférence. Abandonnée des savants, tombée dans le domaine des fêtes publiques, l'aérostation, vers les dernières années de la Restauration, était descendue plus bas encore; elle était pour ainsi dire oubliée, mise de côté. Depuis, elle n'a donné signe de vie

que par des expériences conçues plutôt dans un but de spéculation que dans l'intérêt de la science.

Disons-le ici, si jamais le désir sérieux de s'occuper de cette science s'emparait des esprits en France, les expériences devront être faites avec ordre, et les difficultés surmontées successivement. Mais disons aussi qu'il est malheureusement dans les habitudes de l'esprit français de manquer de persévérance; que souvent il laisse échapper et passer à l'extérieur les découvertes faites chez lui; et que, pour les accueillir, il leur faut en quelque sorte le baptême de l'approbation étrangère.

Ainsi n'a-t-on pas dit et ne répète-t-on pas encore journellement en France : La direction est impossible; par conséquent, l'aérostation ne peut être d'aucune application utile. Cependant qu'on veuille bien le remarquer, aucune expérience sérieuse de direction n'a été faite jusqu'à présent, il n'y a eu que des tentatives, des essais : néanmoins l'on décide, sans balancer, que la direction est impossible, et qu'il faut rejeter la découverte! On en conviendra, c'est trancher la question un peu légèrement, pour ne pas dire plus.

S'il a fallu quarante siècles à la marine pour passer de la barque au vaisseau de cent vingt canons et au paquebot à vapeur, ne peut-on pas accorder plus d'un demi-siècle à l'aérostation pour passer de l'aérostat sphérique de soie à petites dimensions à l'*aérostat cylindro-conique à dimensions colossales;* car cette question de la direction demandera peut-être des essais sans nombre, sur les vents, sur les moyens mécaniques,

sur les agents chimiques à employer avant de s'arrêter à ce qui conviendra le mieux. Puis, avant de s'occuper de la direction, il y a d'autres perfectionnements plus pressants (1) sur lesquels elle s'appuie, qui devront d'abord fixer l'attention.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble de toutes ces difficultés ne fait pas moins de l'art de l'aérostation un des plus beaux et des plus vastes problèmes des temps modernes, lequel, il est vrai, demandera beaucoup de temps et d'argent, de longues et patientes études, de grands efforts de génie, et dont la solution aura besoin du concours de toutes les sciences. Mais nous le disons avec confiance, si jamais le succès couronnait les tentatives faites de ce côté, l'humanité, la civilisation en

(1) « A peine, dit Guyton de Morveau, l'expérience d'Annonay eut-elle prouvé que l'on pouvait élever et soutenir en l'air des machines capables de porter des hommes, que, *sans s'arrêter à des objets d'utilité assez nombreux et plus prochains,* tout le monde parut s'occuper uniquement de la question de savoir si l'on parviendrait à se diriger. Plusieurs en conçurent l'espérance; l'ambition de frapper le premier au but, fit entrer dans la lice tous ceux qui, etc. On vit éclore une foule de projets, etc. D'autres cependant prononçaient hardiment que cette entreprise excédait les forces humaines; ces derniers ont regretté sans doute d'avoir porté un jugement aussi prématuré, lorsqu'ils ont entendu l'Académie royale des Sciences répéter, avec ses Commissaires, que tout semblait en annoncer la possibilité. » (Rapport fait à l'Académie, le 23 décembre 1783, page 86.)

retireront des avantages dont l'énumération n'exciterait peut-être, dans l'état actuel de nos idées, qu'une hilarité incrédule.

Vienne le jour où ce grand problème sera résolu, et l'admiration des générations futures à la vue d'un immense aérostat colossal, dans les airs, sera celle du sauvage à l'aspect de nos magnifiques vaisseaux de guerre.

En résumé, il y avait une grande imprudence à renoncer aussi légèrement qu'on l'a fait, à cette belle découverte, parce qu'à sa naissance on regardait comme trop incertains les moyens de direction.

Selon nous, dans la question de l'aérostation, comme dans toutes les autres, on doit, avant de se permettre d'avoir des idées à soi, commencer par étudier tout ce qui a été fait et écrit sur ces questions, sous peine de ne reproduire que des choses déjà connues, essayées, rejetées ou adoptées. Aussi nous sommes-nous bien gardé de ne commencer nos expériences et de ne formuler nos idées sur l'aérostation, qu'après avoir consulté tous les ouvrages, tant français qu'étrangers, qui ont traité de la matière; qu'après même avoir recherché si les Chinois, qui nous ont précédés dans la découverte de plusieurs branches scientifiques, n'avaient pas eu, avant nous, des idées en aéronautique; mais à part quelques contes fabuleux que nous avons extraits de leurs livres (1), nous n'avons rien trouvé qui pût nous faire soupçonner leurs connaissances en ce genre.

---

(1) *Voir* Note I, page 233.

La gloire de cette belle découverte reste donc, sans partage, à la France. C'est à elle, à elle seule, qu'il appartient d'en poursuivre les conséquences, de voir si elle doit la laisser stérile ou la rendre féconde pour le monde; et si, en ce qui nous concerne, nous enfant né dans la patrie de Joseph Montgolfier, nous avons osé nous lancer dans cette aventureuse carrière, nous ne l'avons fait que par dévouement, par un sentiment d'amour-propre national. Puissions-nous seulement ne nous être pas fourvoyé!

Un mot en finissant. Nous nous sommes longtemps demandé si nous ferions paraître ces *Études sur l'aérostation*, car la question ne nous semblait pas à l'ordre du jour; mais la pensée que des recherches consciencieuses sur une science encore aussi peu avancée pourraient devenir utiles, et peut-être servir de jalon aux personnes qui voudront plus tard reprendre cette question aéronautique, l'a enfin emporté sur nos hésitations. Que ce travail, fruit de veilles laborieuses, atteigne son but, celui d'éclairer les pas dans une carrière où tant d'imaginations ardentes se sont déjà égarées, et ce sera pour nous la seule récompense que nous ambitionnions.

PREMIÈRE PARTIE.

CONDITIONS DE LA NAVIGATION AÉRIENNE.

ÉTUDES

SUR

L'AÉROSTATION.

PREMIÈRE PARTIE.

CONDITIONS DE LA NAVIGATION AÉRIENNE.

DE L'AÉROSTATION ACTUELLE ET A VENIR.

On peut diviser l'aérostation en deux parties :

1°. L'*aréostation actuelle*, qui est l'enfance de l'art et peut servir aux observations scientifiques et militaires, aux voyages aériens sans direction, aux fêtes publiques, aux paratonnerres et paragrêles aériens (1);

(1) L'idée des aérostats-paratonnerres et paragrêles appartient à M. Arago, qui l'a développée dans une de ses savantes Notices de l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, celle de 1838, p. 570, sur le tonnerre.

2°. L'*aérostation à venir*, qui constitue l'aéronautique, c'est-à-dire l'aérostation prise dans son acception la plus large, dans l'hypothèse d'une navigation aérienne, capable de rendre les mêmes services que la marine.

La première est loin d'être encore un instrument docile, malgré les nombreuses expériences déjà faites, et réclame plusieurs perfectionnements.

La seconde est à peine ébauchée en théorie et reste à créer en entier en pratique.

Examinons les principes fondamentaux qui doivent diriger les recherches relatives aux perfectionnements de l'une et de l'autre.

Conditions à remplir pour un aérostat destiné aux ascensions scientifiques.

Parmi les différents usages auxquels on a soumis jusqu'à présent l'aérostation actuelle, un seul, celui des observations scientifiques, est véritablement sérieux et sera principalement l'objet de nos investigations, comme renfermant les difficultés des autres.

L'étude de la météorologie, des principes constitutifs de l'air, et de l'électricité atmosphérique réclame avec instance un aérostat qui soit tel, qu'on puisse monter à une grande hauteur, reve-

nir au lieu de départ pour repartir le lendemain, et continuer ainsi une longue série d'observations journalières, sans qu'on soit obligé, à chaque ascension, de perdre du temps et de l'argent en remplissage de gaz, comme cela se pratique actuellement; en un mot, il faudrait que cet aérostat fût captif, pût monter et descendre à l'aide de cordes sans pertes de gaz, rester jour et nuit exposé à l'air extérieur sans se détériorer, et demeurer attaché à terre élevé à une certaine hauteur, sans avoir à redouter le funeste effet des grands vents: trois conditions que les ballons de soie vernie, caoutchoutée, ou de baudruche, proposés ou exécutés jusqu'ici, ne remplissent en aucune façon; car,

1°. Ils seraient bientôt détériorés par les intempéries des saisons, s'ils faisaient un séjour un peu prolongé dans l'atmosphère;

2°. Tous perdent leur gaz au bout d'un temps plus ou moins court;

3°. Ils sont incapables de rester attachés à terre, à une certaine hauteur, sans courir la chance d'être détruits tôt ou tard par les grands vents (1).

En résumé, les conditions du problème de la

---

(1) Écoutons ce que dit Coutelle, commandant des aéros-

construction d'un aérostat destiné aux ascensions scientifiques, sont celles-ci :

---

tiers de la République, sur les dangers des aérostats captifs qui étaient les seuls qu'il employait :

« Lorsque je m'élevai devant Mayence, à demi-portée de » canon de la place, j'étais seul, parce que le vent étant » fort, je voulais lui résister davantage avec 300 livres en- » viron d'excès de légèreté. Trois bourrasques successives » me rabattirent successivement jusqu'à terre à la distance » de la longueur des cordes qui me retenaient, 150 toises; » la deuxième fois, trois des barreaux qui soutenaient le fond » de la nacelle furent brisés. Chaque fois que la nacelle avait » touché la terre, l'aérostat se relevait par un mouvement » accéléré avec une telle vitesse, que soixante-quatre per- » sonnes, trente-deux à chaque corde, étaient entraînées à » une grande distance, et plusieurs restaient suspendues.

» L'ennemi ne tira point; cinq officiers, au contraire, » sortirent de la place, en montrant un pavillon parlemen- » taire. Nos généraux allèrent au-devant d'eux; lorsqu'ils se » rencontrèrent, le général qui commandait dit au nôtre : « Monsieur le général, je vous prie de faire descendre » ce brave officier, le vent va le faire périr; il ne faut pas » qu'il périsse par un accident étranger à la guerre, c'est » moi qui ai fait tirer sur lui à Maubeuge. » Lorsque le » calme fut rétabli, je donnai le signal de descendre, je » trouvai ma petite troupe et les soldats auxiliaires pâles et » consternés. Ils n'avaient pas été, comme moi, exposés aux » regards et à l'intérêt de plus de cent cinquante mille » hommes. » (*Revue encyclopédique*, 1826.)

1°. Être complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz ;

2°. N'avoir rien à redouter des grands vents lorsqu'il est captif.

C'est la première de ces conditions que j'avais principalement en vue dans la construction de mon ballon de cuivre, dont je parlerai plus loin.

Conditions à remplir pour un aérostat destiné à la navigation aérienne.

S'il est possible de voir un jour résoudre le problème de la navigation aérienne, l'aérostat devra réunir les conditions suivantes :

Il faudra qu'il conserve toujours son gaz ; car on ne peut pas admettre qu'il puisse trouver à le renouveler partout où il descendra ; d'ailleurs, il en renfermera pour une valeur tellement considérable (plusieurs centaines de mille francs), que ce serait une perte énorme s'il fallait le renouveler. Il devra donc, par les mêmes raisons que ci-dessus, être complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz, et n'avoir rien à craindre des grands vents lorsqu'il sera captif, c'est-à-dire lorsqu'il jettera l'ancre.

De plus, comme il devra fendre l'air avec une certaine vitesse, il faudra qu'il ne puisse pas être déformé par la résistance de ce fluide, ce qui s'ob-

tiendra par une certaine rigidité de l'enveloppe provenant d'une certaine tension ou pression intérieure. Il devra pouvoir varier sa hauteur dans l'air pour profiter des courants favorables, pouvoir atterrer et s'élever, c'est-à-dire monter et descendre sans pertes de gaz, qui, comme nous l'avons dit, sont irréparables; avoir une force motrice qui lui permette de naviguer, un gouvernail pour se diriger, etc.

En un mot, les conditions du problème de la navigation aérienne, que nous allons étudier successivement, sont celles-ci :

1re CONDITION. — L'aérostat doit renfermer un gaz d'une production facile qui soit le plus léger possible afin d'avoir la plus grande force ascensionnelle possible, pour une capacité donnée.

2e CONDITION. — L'aérostat doit être complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz.

3e CONDITION. — L'aérostat doit avoir une forme allongée pour pouvoir fendre l'air.

4e CONDITION. — L'aérostat doit avoir une certaine pression intérieure pour ne pas être déformé par la résistance de l'air lorsqu'il naviguera au milieu de l'atmosphère, ou pour résister aux vents lorsqu'il sera captif ou à l'ancre.

5e CONDITION. — L'aérostat doit monter et descendre sans pertes de gaz.

6e CONDITION. — L'aérostat doit être pourvu d'une force

motrice suffisante pour qu'il puisse naviguer au moyen d'agents de locomotion.

7e CONDITION. — L'aérostat doit avoir un gouvernail.

8e CONDITION. — L'aérostat devra n'avoir rien à craindre des grands vents, lorsqu'il sera à l'ancre ou captif.

9e CONDITION. — L'aérostat de grandes dimensions doit être d'une construction facile.

10e CONDITION. — La navigation aérienne doit présenter des avantages sur les différents modes de transport usités jusqu'ici. Exemples de quelques applications.

11e CONDITION. — Indiquer l'ordre à suivre dans les expériences futures et les voies et moyens pour en couvrir les frais.

12e CONDITION. — Conclusion.

Telles sont les conditions du problème de la navigation aérienne que nous allons examiner. Nous voyons qu'elles renferment (la 2e et la 8e celles de l'aérostat destiné aux ascensions scientifiques; il en résulte qu'en cherchant à résoudre le deuxième problème, nous aurons résolu le premier, qui n'en est qu'un cas particulier. Occupons-nous donc de la navigation aérienne, examinons successivement toutes ses conditions, et voyons comment nous franchirons les douze obstacles de ce nouveau steeple-chase pour arriver au terme de la course.

On peut voir, par ce qui précède, que les prin-

cipales conditions de l'aéronautique dépendent, en grande partie, de la nature de l'enveloppe, soit comme matière, soit comme forme; de sorte que l'*étude de l'enveloppe* est réellement la question dominante de l'aérostation, de laquelle dépendent toutes les autres difficultés, dont il serait inutile de s'occuper si l'on n'avait pas l'espoir de la résoudre d'une manière satisfaisante.

PREMIÈRE CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT RENFERMER UN GAZ D'UNE PRODUCTION FACILE ET QUI SOIT LE PLUS LÉGER POSSIBLE, AFIN D'AVOIR LA PLUS GRANDE FORCE ASCENSIONNELLE POSSIBLE, POUR UNE CAPACITÉ DONNÉE.

Du contenu de l'enveloppe.

Parmi les conditions de l'aéronautique, celle du *contenu de l'enveloppe* est la plus simple de toutes, et pour cette raison nous commencerons par elle. On peut dire qu'elle est à peu près résolue, sauf quelques détails que nous allons expliquer.

On a beaucoup écrit sur le choix du meilleur gaz à employer pour le remplissage des ballons; on a débuté par essayer l'air chaud, puis l'hydrogène, et l'on a proposé, depuis, la vapeur, le vide, etc. Nous allons examiner successivement ces différents moteurs aérostatiques et prouver, par le calcul, qu'il n'y a pas la moindre hésitation à avoir sur la préférence à donner à l'hydrogène; fait bien connu des physiciens, mais

que nous croyons utile d'établir par des chiffres, pour ceux qui ont proposé autre chose que ce gaz.

De l'air chaud.

L'air chaud, à l'époque des montgolfières, présentait le précieux avantage de pouvoir être dilaté en dix minutes (1), et prêt à enlever un aréostat de 20 mètres de diamètre, sans autre frais que ceux du chauffage; mais, d'un côté, s'il y avait économie de temps et d'argent dans la production du moteur, il y avait, de l'autre, une perte considérable de force ascensionnelle ou de légèreté, provenant du poids du combustible à emporter, ainsi que de la faible différence de densité de l'air atmosphérique et de l'air intérieur échauffé à une température facile à entretenir dans un aérostat. Cette perte était telle, que pour la récupérer, il aurait fallu adopter des dimensions bien autrement grandes que celles des ballons à hydrogène. pour produire un même effet. Aussi cette nécessité d'emporter du combustible et d'augmenter le diamètre des aérostats, qui serait, dans les grandes dimensions, un obstacle insurmontable, doit-elle faire rejeter l'emploi de l'air chaud.

---

(1) *Voir* dans Faujas de Saint-Fond les premières ascensions de la Muette et de Versailles en 1783.

Pour ne laisser subsister aucun doute à cet égard, donnons ici la densité de l'air correspondant à différentes températures; on trouve par le calcul (1) que

La densité de l'air à	0°	étant	1
à	10°	devient	0,96
à	50°		0,84
à	100°		0,72
à	200°		0,56
à	3653°		0,068 densité de l'hydrog.

Ainsi, en entretenant dans l'aérostat une température de 100 degrés (chose fort difficile lorsque la température extérieure à une certaine

(1) Soient d la densité et v le volume de l'air à 0 degré, d' la densité et v' le volume de l'air à T°, le baromètre marquant $0^m,76$. D'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on a

$$d : d' :: v' : v, \quad \text{d'où} \quad d' = \frac{dv}{v'} = \frac{dv}{v(1 + T^\circ\, 0,00375)},$$

et en supposant

$$d = 1, \; d' = \frac{1}{1 + T^\circ\, 0,00375}.$$

En faisant, dans cette formule,

$$T^\circ = 10^\circ \text{ ou } 100^\circ, \text{ etc.},$$

on obtient les résultats ci-dessus. On n'admet l'exactitude de cette équation qu'entre 0 et 100 degrés; cependant (faute d'autre), pour donner une idée de ce qui se passe, nous attribuons à T° les valeurs de 200 et 3653 degrés.

hauteur est 0 degré, on doit même regarder 60 à 70 degrés comme le terme qu'il serait difficile de dépasser), on n'obtient qu'une densité de 0,72; à 200 degrés (température impossible à réaliser), on n'obtiendrait qu'une raréfaction de 0,56, c'est-à-dire de moitié, et il faudrait 3653 degrés pour avoir la densité de l'hydrogène. Donc l'air chaud, outre les dangers d'incendie qui ont fait prohiber son emploi, dans les ascensions, par une ordonnance ministérielle sous la Restauration, outre l'embarras qu'entraîne la nécessité d'emporter du combustible, aurait de plus l'inconvénient de ne produire jamais qu'une densité peu différente de celle de l'air ambiant, et par conséquent une faible puissance ascensionnelle, comparativement à celle que donnerait un même volume d'hydrogène.

De la vapeur d'eau.

La densité de cette vapeur n'est que de 0,62; elle a les mêmes inconvénients que l'air chaud, et présente, de plus, la difficulté d'entretenir dans le vaste volume de l'aérostat une température continuelle de 100 degrés (1), ce que nous regardons comme impraticable.

---

(1) Température de la vapeur.

Du vide.

Lorsqu'on fait le vide (1) dans un récipient, on donne lieu à une pression extérieure de 10325 kilogrammes par mètre carré (2) qui exigerait une force d'enveloppe telle, pour être supportée, que son poids rendrait l'ascension impossible.

Cette pression extérieure serait une force *centripète* égale au poids de 1 atmosphère, et, comme telle, bien plus difficile à maîtriser qu'une force *centrifuge* égale, et, à fortiori, qu'une force centrifuge beaucoup plus faible, provenant de la légère pression intérieure que nous proposerons plus loin dans l'aérostation à hydrogène, marchant à très-basse pression. Par ce double motif

---

(1) L'idée du vide n'est pas neuve, elle remonte au temps d'Aristote. On lit dans le tome I, chap. XV, de l'Abrégé de Gassendi, en 8 volumes, Lyon, 1678:

« Plusieurs anciens ont cru avec Aristote que l'air était » pesant de sa nature et qu'il n'était dit léger que par com- » paraison, puisqu'il est constant, par l'expérience même » qu'en a faite Aristote, qu'un ballon est plus pesant quand » il est enflé ou rempli d'air condensé ou resserré que quand » il est vide. »

Il s'agit ici d'un ballon de laboratoire, d'une enveloppe rigide, et probablement en verre, car Aristote s'est occupé de cette substance.

(2) Peclet, tome I, page 241.

il n'y a donc pas lieu de s'occuper plus longuement du vide dans les aérostats.

De l'hydrogène.

L'hydrogène est sans rival pour la légèreté. Quand on compare les gaz par leurs densités, on est frappé de la faiblesse de celle de l'hydrogène; et dans le fait, cette densité est tellement petite (0,06), qu'elle équivaut presque au vide pour le poids. Cet avantage, joint à la facilité de sa production, lui assure, dans l'avenir aérostatique, un rôle immense (1).

Un seul point reste encore à étudier dans l'hydrogène considéré comme *contenu de l'enveloppe*: c'est de trouver un emploi, un large écoulement, aux produits résultant de la fabrication de ce gaz (sulfate de fer ou de zinc), de manière à en diminuer le prix.

Jusqu'à présent le sulfate de zinc n'a été em-

---

(1) M. Green, en faisant usage du gaz des manufactures, est obligé de se récupérer sur le diamètre de son ballon, de la perte de légèreté qu'il fait en ne se servant pas de l'hydrogène pur. L'avantage du gaz d'éclairage consiste: 1° dans la facilité et l'économie de le prendre dans une usine à gaz; 2° dans sa moindre fugacité provenant de sa plus grande densité.

ployé qu'à des usages très-restreints, savoir, en pharmacie comme astringent; en teinture, etc. Dans les lampes hydrostatiques, sa dissolution, qui a une grande densité, a été utilisée pour servir de poids.

M. Sorel (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XIX, p. 1168) propose de l'employer pour durcir le plâtre.

M. Siret (*Comptes rendus*, t. XIX, p. 267) propose aussi de l'employer conjointement avec le sulfate de fer, dans la composition d'une poudre propre à désinfecter les matières fécales.

Le sulfate de fer est employé dans la fabrication de l'encre, de la teinture en noir, en gris, etc., dans l'extraction du cuivre, par le moyen électrochimique de M. Becquerel (*Comptes rendus*, t. XXI, p. 278). Il y a des fabriques spéciales qui ne le fournissent pas aussi pur que le donne la préparation de l'hydrogène; néanmoins les teinturiers, par routine, le préfèrent ainsi.

La fabrication du gaz par le zinc est plus chère que par le fer, puisque le zinc coûte 50 francs les 100 kilogrammes, tandis que le fer ne coûte que 10 francs également les 100 kilogrammes.

Mais le fer demande un peu plus d'acide, et la production n'est pas aussi abondante.

3 kilogrammes de fer et 5 kilogrammes d'acide

donnent 1 mètre cube de gaz, d'où V étant le volume de gaz à employer, on a :

V.3 pour le poids du fer en kilogrammes (on observe à peu près les mêmes proportions pour le zinc);

V.5 pour le poids de l'acide sulfurique en kilogrammes, ou en volume, V.2,5 parties;

V.30 pour le poids de l'eau en kilogrammes, ou en volume, V.30 parties.

La densité de l'acide est 1,842, celle de l'eau étant 1.

Quant à la production du gaz par la décomposition de l'eau, elle a entraîné dans de telles longueurs de temps, au commencement de la découverte de l'aérostation, qu'on a été obligé d'y renoncer. Il serait cependant à désirer qu'on cherchât à y revenir par quelques nouvelles méthodes plus promptes, qui permettraient ainsi d'utiliser un agent naturel qu'on aurait partout et toujours sous la main.

M. Longchamps pense qu'un cylindre en fonte de $0^m,40$ de diamètre et de $2^m,20$ de longueur pourrait produire en vingt-quatre heures 14 à 15000 pieds cubes (555 mètres cubes) de gaz, et que la dépense ne s'élèverait qu'à 150 francs (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. VIII, p. 346).

Enfin la réduction du prix de revient du gaz

est un objet de recherche très-important pour l'aérostation; et comme nous avons remarqué que sa fabrication est généralement très-défectueuse, nous présenterons, à cet égard, trois observations:

1°. On a l'habitude de se servir de plusieurs tonneaux dans lesquels on met l'eau, l'acide et le fer. Nous croyons qu'une cuve unique doublée en plomb vaudrait mieux, car elle présenterait moins de surface et, par conséquent, moins de chance de fuites, le plomb de la cuve les rendant presque impossibles; tandis qu'avec l'emploi des tonneaux, il est très-difficile de les éviter. Cependant, dans une expérience que j'ai faite avec trente-huit tonneaux, je suis parvenu à les empêcher presque entièrement, en apprêtant mon appareil quinze jours d'avance et en le tenant rempli complétement d'eau pendant tout ce temps; alors le bois s'est abreuvé, et partout où une fuite se déclarait, on la fermait. La veille de l'expérience, l'imperméabilité était presque complète et la dose de zinc introduite dans chaque tonneau: au moment de mettre l'acide, un trou pratiqué dans le fond du tonneau à une hauteur calculée donnait issue à l'excès d'eau, de manière à n'y laisser que la proportion nécessaire à la production du gaz. Cet excès d'eau écoulé, le trou était

bouché avec une cheville de bois, et l'acide introduit.

2°. Quand on se sert de zinc, il arrive que, pendant la production du gaz, il se forme du sulfate de zinc qui, étant plus pesant que l'eau, descend au fond sur le métal et l'enveloppe d'un sirop dont la viscosité empêche l'action vive de l'acide, et retarde la production du gaz. Pour éviter cet inconvénient, il faudrait que le métal fût soutenu au-dessus du fond et au milieu du liquide, par un grillage en plomb; disposition qu'il serait facile d'adopter dans la grande cuve proposée.

3°. Il faudrait étudier le fait signalé par M. Millon, dans un Mémoire sur la décomposition de l'eau, présenté à l'Académie des Sciences, le 7 juillet 1845, duquel il résulterait qu'on peut faire varier de 1 à 149 le volume de gaz produit, si l'on vient à ajouter à la dissolution 0,0001 de bichlorure de platine. Ce fait serait très-important par l'économie qu'il présenterait dans la fabrication du gaz.

En résumé, la découverte de l'hydrogène par Cavendish, en 1777, et l'invention des aérostats par Montgolfier, en 1783 (à six ans d'intervalle!), sont deux faits très-importants à joindre à tant d'autres de la fin du siècle dernier, qui concour-

ront, par les germes qu'ils renferment, à faire de cette époque, l'une des plus fécondes de l'histoire du monde. La singulière proximité des dates de ces deux précieuses découvertes qui devaient s'aider mutuellement, ne semble-t-elle pas un appel fait par la Providence à l'humanité pour la convier à une nouvelle sphère d'activité, à la conquête de l'atmosphère?

DEUXIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT ÊTRE COMPLÉTEMENT INALTÉRABLE A L'AIR ET IMPERMÉABLE AU GAZ.

De la matière de l'enveloppe.

Parmi tous les perfectionnements que l'aérostation attend, c'est celui de l'enveloppe qui m'a toujours paru le plus pressant. Quel espoir d'avenir pour l'aérostation peut-on fonder, en effet, sur une enveloppe de soie vernie très-coûteuse, si peu solide, qu'elle serait incapable de résister au frottement de l'air dans un voyage de long cours; si perméable qu'elle ne peut conserver son gaz (*voir* note II); et si altérable à l'air, qu'au bout de quelques ascensions (1), elle est hors de service? Comment l'aéronaute peut-il se servir avec

(1) Le ballon de M. Green a déjà servi à deux cent cinquante-six ascensions, il est vrai; mais ces ascensions sont de peu de durée, et nous avons en vue ici un aérostat qui serait continuellement exposé aux intempéries de l'air.

assurance de son aérostat, si, lorsqu'il commence à connaître sa marche ou sa manière de se conduire, il devient incapable de servir plus longtemps? C'est comme si un vaisseau neuf, après avoir fait les courses d'épreuve nécessaires pour régler son lest, sa voilure, sa mâture, rentrait au port pour désarmer. L'imperméabilité de l'enveloppe est le point de départ de l'art aéronautique, et la direction est une question secondaire dont on ne doit s'occuper qu'en son temps.

Dans le principe, lorsque l'homme eut l'idée de construire une barque, son premier soin fut, non pas de savoir comment il la gouvernerait, mais comment il empêcherait l'eau d'y pénétrer et la rendrait imperméable; plus tard, il s'occupa du gouvernail ou de la direction. De même, en aéronautique, la première difficulté à vaincre est celle de l'imperméabilité de l'enveloppe, et il est superflu de s'occuper de la direction tant que cette première difficulté ne sera pas vaincue; car, sans imperméabilité, il n'y a point de direction utile. De toute nécessité, il faut donc chercher une bonne matière d'enveloppe, rejeter la soie, les tissus, et, en général, les enveloppes flexibles, à cause de leur perméabilité, de leur peu de durée et de leur prix, et chercher s'il n'y aurait pas une autre substance qui permettrait de

concevoir l'avenir magnifique de l'aérostation, en présentant à un degré satisfaisant les qualités suivantes :

1°. Imperméabilité complète;

2°. Résistance aux intempéries des saisons, ou bonne conservation à l'air extérieur;

3°. Ténacité suffisante.

Interrogeons donc les trois règnes, animal, végétal et minéral :

Dans le premier, toutes les peaux sont perméables à l'hydrogène; la baudruche (gros intestin du bœuf) présente les mêmes inconvénients que la soie.

Dans le deuxième, le carton aurait de grands avantages de bon marché, de facilité de travail, de légèreté, de solidité et d'imperméabilité, s'il n'avait l'inconvénient de se mal comporter à l'humidité. Il est, pour ainsi dire, insensible aux variations du thermomètre et très-sensible à celles de l'hygromètre (1); néanmoins, comme il doit être possible de le préserver de l'humidité, il est peut-être destiné à jouer un très-

(1) Un ruban de carton composé de trois feuilles de papier, long de 10 mètres, large de $0^m,01$, s'allonge par un temps très-humide, de $0^m,10$; et par un temps très-sec il revient à sa dimension première.

grand rôle en aérostation. En attendant que l'expérience soit venue éclairer à ce sujet, on peut dire que le carton fait avec plusieurs feuilles de papier superposées, dont les défauts des unes seraient couverts par les autres, semble éminemment convenable pour une enveloppe aérostatique. (*Voir* note III.)

Dans le troisième règne enfin, on aperçoit les métaux malléables : au premier abord, l'idée d'un aérostat métallique étonne l'imagination, et puis ensuite, quand on vient à peser une feuille de métal et à introduire son poids dans la formule de l'aérostat sphérique, on voit que c'est la chose la plus simple. Un jésuite, le P. Lana, avait, en 1670, annoncé et calculé même la solution de cette difficulté; Guyton de Morveau en a parlé depuis, et il est étonnant que personne jusqu'ici n'ait cherché à réaliser cette idée (1).

D'ailleurs, quand on vient à remarquer ce que

(1) Le gazomètre du faubourg Poissonnière, qui a 33 mètres de large sur 8 mètres de haut, peut être considéré comme un ballon en forte tôle. Il est soulevé par le gaz qu'il renferme, malgré les poids et la charpente qui le chargent en dessus, et la densité (0,98) du gaz d'éclairage (hydrogène percarburé). Il serait donc soulevé plus facilement encore, s'il renfermait de l'hydrogène pur, dont la densité n'est que 0,0688.

devient la force ascensionnelle d'un aérostat sphérique lorsqu'on fait croître son rayon (*voir* table IV, note V), on reconnaîtra cette propriété si précieuse en aérostation, qu'elle en est toute la puissance; à savoir, que *lorsque deux quantités, comme la surface et le volume d'un aérostat, croissent, la première comme le carré, et la deuxième comme le cube du rayon, il arrive un moment où en augmentant ce rayon, le cube croît si vite relativement au carré, qu'il finit par atteindre des valeurs énormes relativement au dernier; par conséquent l'effet utile ou la force ascensionnelle prend alors aussi des valeurs étonnantes, et le carré ou la surface finit par s'annuler, pour ainsi dire, devant le cube ou le volume. Que cette surface pèse donc plus ou moins, il y aura toujours une certaine dimension de diamètre qui donnera une force ascensionnelle qui croîtra avec lui.* Montrons, par un exemple, la vérité de ce qui précède, et en même temps l'énorme puissance que nous promet l'aérostation; donnons dans la formule de l'aérostat sphérique (1) trois valeurs

---

(1) $P = \frac{4}{3}\pi R^3 (d - d') - 4\pi R^2 p$ (voir *Physique* de Peclet, tome I, page 274, seconde édition);

P étant le poids soulevé par le ballon nu;

p le poids de l'unité de surface de l'enveloppe;

au rayon, une ordinaire $R = 5$ mètres, une plus grande $R = 10$ mètres, et une colossale $R = 100$ mètres; on obtient les résultats suivants :

---

d le poids de l'unité de volume de l'air ;
d' le poids de l'unité de volume de l'hydrogène ;
R le rayon de l'aérostat sphérique.

1 mètre cube d'air pèse ..... $1^k,3 = d$;
1 mètre cube d'hydrogène..... $0^k,1 = d'$.
1 mètre carré de cuivre de $0^m,0001$ d'épaisseur. $0^k,9 = p$.

Remplaçant dans la formule, on a

$$P = \frac{4}{3}\pi R^3(1,2) - 4\pi R^2 0,9$$
$$= 4,19R^3(1,2) - 12,56R^2 0,9 = 5,03R^3 - R^2 11,30$$

ou

$$P = R^2(5,03R - 11,30);$$

soit $R = 5^m$,

$$P = 25(25,15 - 11,30)$$
$$= 25(13,85) = 346^k,25;$$

soit $R = 10^m$,

$$P = 100(50,3 - 11,30) = 3900^k;$$

soit $R = 100^m$,

$$P = 10000(503 - 11,30) = 4,917,000^k.$$

	DIMENSIONS du rayon et diamètre.	FORCE ascensionnelle ou poids soulevé.	OBSERVATIONS.
AÉROSTAT de cuivre pesant $0^k,9$ le mètre carré (*).	R = 5^m ou D = 10^m	$346^k,25$	
Id.....	R = 10^m ou D = 20^m	3900^k	
Id (**)...	R = 100^m ou D = 200^m	4917000^k soit 5000000^k	Poids de 50 000 hommes à 100 kilogr. par homme. Application à une descente d'armée en pays ennemi.

(*) C'est celui que j'ai employé.

(**) Le même cuivre pesant $0^k,9$ est convenablement fort, car il suffit qu'il puisse se porter lui-même sans rompre, lorsqu'il sera en forme de sphère. Or considérons un grand cercle de cette sphère en forme de ruban de $0^m,01$ de large, sa longueur sera de 600 mètres environ, et son poids de $5^k,4$, puisque par hypothèse 1 mètre carré pèse $0^k,9$, d'où 100 mètres de ruban de cuivre de $0^m,01$ de large pèseront $0^k,9$, d'où 600 mètres pèseront $5^k,4$.

Ainsi, le ruban du grand cercle n'aura à supporter que $5^k,4$ de tirage. Or il ne rompt (comme nous le verrons) qu'à 14 kilogrammes; donc ce cuivre peut convenir pour une sphère de 200 mètres de diamètre. Au surplus, on peut sans grand inconvénient augmenter l'épaisseur.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, nous nous contenterons de livrer à la méditation du lecteur ce chiffre de 5000000 kilogrammes (poids d'une armée de 50000 hommes), que soulèverait un aérostat sphérique de

R = 100 mètres, en cuivre, pesant $0^k,9$ le mètre carré.

Revenons au règne minéral.

Après avoir rejeté les métaux précieux à cause de leur prix, arrêtons-nous sur le fer, le cuivre, le zinc et le plomb, et rapportons les deux tableaux suivants (1) :

	TÉNACITÉ ou poids portés par un fil de $0^m,002$ de diamètre.	DENSITÉ.	OBSERVATIONS.
	k		
Fer.....	249	7,20	
Cuivre....	137	8,80	
Zinc.....	12	7,00	
Plomb....	Pas donné, mais < 12	11,35	Il s'étend plus facilement en lame qu'il ne se tire en fil.

MÉTAUX RANGÉS PAR ORDRE DE LEUR PLUS GRANDE FACILITÉ A PASSER	
A la filière.	Au laminoir.
Fer.	Cuivre.
Cuivre.	Plomb.
Zinc.	Zinc.
Plomb.	Fer.

Repoussons de suite le zinc à cause de sa faible ténacité et malléabilité, de sa roideur en feuille et

(1) THÉNARD, tome I, page 263.

de son prix; ainsi que le plomb à cause de sa grande densité (1): le fer et le cuivre restent seuls en présence. Plaçons ici un second tableau relatif à ces deux métaux, tels que nous les avons trouvés dans le commerce.

		ÉPAISSEUR.	POIDS du mètre carré.	PRIX du mètre carré.	OBSERVATIONS.
		m	k	f c	
Cuivre	laiton....	0,0001	0,795	4 86	Contient 75 p. 100 de cuivre, dont la densité est 8,80; et 25 p. 100 de zinc, dont la densité est 7,1; par conséquent il est plus léger que le cuivre rouge.
	rouge....	0,0001	1,2	9.00	C'est celui qui sert à faire des cadrans; vient de Suisse; on ne trouve le cuivre rouge en France qu'en bandes très-minces ou bien en feuilles trop épaisses.
Fer...	tôle fine..	0,0001	0,984	2.50	La différence par mètre carré du poids de la tôle fine et du laiton est de 0,189; ce qui est énorme.
	blanc....	0,0002	1,346	4.89	

Nous voyons que la tôle et le laiton sont plus

(1) Cependant cette raison ne serait pas suffisante pour une expérience en grand, où le poids de l'enveloppe a peu d'importance; et comme le plomb est recommandable par sa souplesse en feuille et par sa bonne conservation à l'air, il y aura des études à faire à cet égard, avant de se prononcer plus positivement. Ce métal pourra, dans tous les cas, servir d'auxiliaire, comme hydrofuge, pour garantir l'enveloppe des eaux pluviales.

légers et moins chers que le cuivre rouge et le fer-blanc; préférons-les, et cherchons sur lequel des deux devra tomber notre choix. Sans doute la tôle se présente avec de beaux avantages sur le cuivre: sa supériorité de ténacité, son infériorité notable de prix auraient été des titres suffisants pour la faire préférer, si le cuivre laiton ne l'avait emporté par sa meilleure conservation à l'air, sa plus grande légèreté, malléabilité, et facilité à prendre la soudure. D'ailleurs on ne trouve dans le commerce, à Paris, que des feuilles de tôle de 1 mètre carré environ (1), tandis que la Prusse nous fournit des feuilles de cuivre gratté de 6 mètres de long sur $0^{m},50$ de large, que la France fabriquera quand elle le voudra; ensuite la tôle, outre son défaut d'être cassante, présente encore celui de laisser voir de petits trous quand on la réduit en feuilles de 0,0001, tandis que le cuivre laiton semble réunir toutes les conditions de légèreté, souplesse et conservation qu'on peut désirer. Lorsqu'il est recouvert d'une petite couche de carbonate de cuivre provenant de l'influence atmosphérique, il devient inaltérable à l'air; au microscope on n'y remarque pas de

(1) Il est important d'avoir de grandes feuilles, qui nécessitent moins de soudure que les petites, et donnent, par conséquent, plus de légèreté.

porosité trop grande. On l'appelle cuivre gratté, parce qu'au sortir du laminoir, on le gratte avec un instrument qu'on tient à la main, et qui, malheureusement, a l'inconvénient de gauchir la surface. Le but de ce grattage est de donner un bel éclat, recherché dans le commerce. Bref, j'arrêtai mon choix sur ce cuivre gratté, pour la construction d'un ballon métallique d'un rayon de 5 mètres, que je rapporterai plus loin. Nous verrons, par la critique que je ferai de cette expérience, que le métal présente de graves inconvénients de longueur de travail, de cherté, de pesanteur, etc., et que le carton composé de plusieurs feuilles semblerait plus convenable.

En résumé, on voit, par ce qui précède, que les premiers pas en aérostation sont arrêtés par la grave question de la matière de l'enveloppe; on peut même dire que, pour le moment, une bonne matière d'enveloppe, convenablement applicable aux vastes destinées que nous supposons à l'aéronautique, est encore à trouver, et que l'expérience seule pourra trancher la question.

Nous verrons, dans la suite de ces Études, surgir, ainsi que nous venons de le dire, des difficultés très-importantes qui, jusqu'ici, avaient été éclipsées par celle de la *direction*, que, suivant nous, on avait mise beaucoup trop en relief.

TROISIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT AVOIR UNE FORME ALLONGÉE POUR POUVOIR FENDRE L'AIR.

De la direction.

Si l'on considère l'aérostation comme pouvant servir un jour à la navigation aérienne, il est évident qu'il faut partir de la possibilité d'une direction et, par conséquent, adopter une forme allongée, la seule qui lui soit propre. Occupons-nous d'abord de la direction.

Longtemps on a dit : *La direction est impossible, il n'y a pas de point d'appui, on ne peut aller contre le vent.* Ces deux expressions sont complétement fausses ; car tout corps flottant dans un fluide quelconque a si bien des points d'appui, qu'il s'appuie lui-même sur ce fluide, et qu'il ne peut se mouvoir qu'en vertu de celui qu'il y trouve. C'est ainsi que le poisson, la barque *sans voile*, le nageur, l'oiseau, ne se meuvent qu'en vertu des points d'appui pris sur

le fluide environnant à l'aide de la force dont ils disposent. Il aurait été plus exact, quant à la forme, de dire que la force nécessaire pour prendre ces points d'appui donne lieu à un surcroît de poids inadmissible dans un aérostat, mais c'eût été tout aussi faux, quant au fond, comme je le ferai voir plus loin, en m'appuyant sur la loi de Newton.

De même, dire qu'on ne peut aller contre le vent, c'est avancer un fait inexact, si l'on entend parler d'un vent quelconque; car un aérostat peut, à l'aide d'une force suffisante, remonter un courant d'air léger, comme un bateau à vapeur remonte celui d'une rivière (1), et nous démontrerons (*voir* 6e condition) la possibilité, pour les ballons à grandes dimensions, d'avoir une force aussi énergique que celle des bateaux à vapeur, sans que le poids de la machine produisant cette force excède la puissance ascensionnelle. En un mot, autant qu'il est permis d'en juger par le calcul, les ballons, comme les bateaux à vapeur, remonteront les courants d'une certaine

(1) On a longtemps soutenu aussi que les bateaux à vapeur ne pourraient surmonter le courant rapide du Rhône et les vagues de la mer : le temps et l'expérience ont fait justice de cette objection.

force. On peut même dire qu'il n'est pas absurde d'admettre la possibilité d'un aérostat colossal, porteur d'une machine tellement puissante, qu'elle soit capable de vaincre la résistance des vents forts, et qui, semblable à nos énormes paquebots transatlantiques de 500 à 600 chevaux, partirait à son heure fixée (sans s'inquiéter de la force ni de la direction du vent), avec une vitesse minime à la remonte, pour aller gagner des couches supérieures où le calme et les vents favorables lui permettraient de faire usage de toute la puissance de ses machines (1). Ainsi se trouverait résolu le problème de la navigation aérienne dans son plein essor. Mais en attendant que l'expérience, ce grand juge de toute théorie, ait vérifié ce que nous avançons sur l'aérostation à venir, dirigeons un regard moins hardi vers les études relatives à son enfance et basées sur les faits déjà constatés par l'expérience. Bornons notre prétention à prouver qu'un ballon de petites dimensions pourra se diriger et naviguer au moins par la moitié de la rose des vents faibles. Pour cela, rappelons deux faits reconnus par les aéronautes :

---

(1) *Voir* (6e condition) l'aérostat de 450 chevaux.

1°. *Un aérostat en plein air, hors des nuages* (1), *est emporté par le vent avec tout le milieu dans lequel il se trouve, sans la moindre secousse, sans cesser de jouir du calme le plus parfait, quelle que soit la vitesse.*

Le ballon étant, en effet, en équilibre dans l'air ambiant, il fait corps avec lui et doit être transporté sans secousse; ce qui est confirmé par les aéronautes. Il s'ensuit que ce ballon peut se livrer, dans la masse d'air au milieu duquel il voyage, à toutes sortes de mouvements; et pour peu qu'il ait une force à sa disposition, il peut très-facilement aller contre le vent: mais il n'y a avantage que lorsque la force du vent est plus petite que la force dont il dispose.

2°. *A l'aide de rames on peut décliner, c'est-à-dire suivre une direction différente de celle du vent.*

Rapportons quelques expériences à l'appui de ce fait :

---

(1) Les nuages sont souvent chargés d'électricités différentes qui déterminent des commotions dont les aérostats peuvent avoir à souffrir. Plusieurs expériences ont confirmé ce fait, sans qu'il en soit cependant résulté d'accidents. (*Voir* l'expérience du duc de Chartres, page 38, en note.)

M. Vallet, placé dans une civière suspendue à une corde, a fait agir des ailes à l'aide desquelles il avançait d'environ 6 mètres de l'aplomb; quand il n'en agitait qu'une, il faisait tourner la civière.

Ayant, d'un côté, disposé en balance sa civière, et, de l'autre, un plateau dans lequel un poids faisait équilibre à celui de la civière chargée de sa personne, il agita ses ailes du haut en bas et de bas en haut, et la civière montait et descendait.

Dans une autre expérience, M. Vallet disposa un bateau avec quatre ailes de moulin à vent en soie, et, en les faisant tourner, il traversa la rivière contre le vent.

Il en conclut, avec raison, qu'avec des ailes ou rames on peut, dans un ballon, avancer, tourner, monter et descendre (1), comme il l'a reconnu par une expérience qu'il fit avec M. Alban :

Ayant fait usage de rames dans un ballon sphérique, ils ont monté, descendu, et se sont promenés dans la cour de leur manufacture de Javelle, par un temps calme, malgré les inconvénients de la forme sphérique pour la locomotion (2).

En 1786, M. Testu fit une ascension avec un ballon à hydrogène de 9 mètres de diamètre,

---

(1) Extrait de l'*Encyclopédie méthodique*.

(2) Précis des expériences de MM. Alban et Vallet.

pour lequel il se servit de rames qui l'aidèrent à tourner, monter et descendre (1).

Le 12 juin 1784, MM. de Morveau et de Virly firent usage de rames et d'un gouvernail contre le vent, et ils avancèrent de 100 mètres. (*Aérostate de Dijon*, par M. de Morveau, page 208.)

En 1784, le 19 septembre, MM. Robert et Collin-Hullin firent une ascension très-intéressante dans un ballon à hydrogène de forme cylindro-sphérique, dans lequel ils firent usage de rames qui leur servirent beaucoup, notamment à éviter un moulin, et à décliner de 22 degrés. Après avoir traversé des régions où grondait le tonnerre, et ressenti un froid très-vif, ils redescendirent près d'Arras, etc. (2).

Ainsi, malgré le peu d'habitude de MM. Ro-

---

(1) *Encyclopédie méthodique*. Les rames de M. Testu lui furent fort utiles. Il était descendu dans un champ pour prendre du lest; des paysans, furieux du dégât, accoururent et voulurent le conduire au village; il les pria alors de tirer tous sur la même corde, et quand il fut à 7 mètres en l'air, il la coupa et s'éloigna, à force de rames, en laissant ces pauvres gens, tout ébahis, exhaler entre eux leur colère.

(2) Cette expérience, fort curieuse, avait été entreprise par les ordres du duc de Chartres, père du roi actuel. Ce prince donnait alors de grands encouragements à l'aérostation, et il fit lui-même à Saint-Cloud une ascension qui faillit lui devenir funeste. Voici comment la rapporte à peu près

bert à manier la rame, ils ont décliné de 22 degrés. Que l'on juge de ce qu'il adviendra lorsque

---

Tiberius Cavallo, dans son *Histoire et pratique de l'Aérostation*, traduite de l'anglais :

« Le 15 juillet 1784, M. le duc de Chartres, MM. Robert et une autre personne partirent du parc de Saint-Cloud à $7^h 52^m$ du soir avec un ballon à gaz, forme oblongue, de 34 pieds de diamètre sur 55 pieds de long ; ils restèrent dans l'atmosphère 45 minutes, et descendirent à une petite distance du lieu de leur départ, à 30 pieds de la Garenne, dans le parc de Meudon. Les différentes particularités de ce voyage méritent d'être rapportées, car rien de semblable n'était encore arrivé. Cet aérostat renfermait dans son intérieur un petit ballon rempli d'air commun, à l'aide duquel il devait monter et descendre sans pertes de gaz ou de lest : des rames et un gouvernail devaient servir à le diriger. Le ballon se perdit de suite dans un nuage épais ; une agitation extraordinaire de l'air, semblable à un tourbillon, fit faire à la machine trois tours de droite et de gauche. Les chocs violents qu'éprouvèrent les aéronautes les empêchèrent de tenter aucun moyen de direction, ils arrachèrent même le gouvernail. Il n'est pas possible, d'après leur rapport, d'être témoins d'une scène plus effrayante. Une foule de nuages se précipitant les uns sur les autres semblaient vouloir leur fermer le retour à la terre qu'ils avaient perdue de vue ; la machine étant agitée de plus en plus, ils coupèrent les cordes qui soutenaient le petit ballon dans l'intérieur, il tomba sur la partie inférieure du grand et en ferma l'ouverture. En ce moment, ils furent soulevés au-dessus des nuages, et ils aper-

de bons rameurs, en nombre suffisant, se mettront à la besogne.

Nous disons qu'à l'aide des deux faits précédents, constatés par l'expérience, un ballon allongé et de petites dimensions pourra, avec une brise légère, naviguer et se diriger par la moitié de la rose des vents (si le vent était violent, l'appareil ne quitterait pas le port aérostatique). (1) En effet, soient A (*fig.* 1) sa position, B le but à atteindre, nous joignons A et B et nous traçons la perpendiculaire DAC; il est évident que tous les

---

çurent le soleil : la chaleur de ses rayons et la moindre densité de l'air occasionna une dilatation qui fit craindre une rupture. Pour éviter ce danger, ils introduisirent un bâton dans le tube, afin de soulever le petit ballon qui en bouchait l'ouverture.... Impossible.

» Ils montaient toujours, ils étaient à 5100 pieds. Dans ces circonstances alarmantes, ils jugèrent qu'il était nécessaire de crever le ballon ; alors M. le duc de Chartres prit un des deux étendards et le troua en deux endroits. Ces ouvertures se prolongèrent de 7 à 8 pieds, et ils descendirent très-rapidement, sans distinguer le moindre objet sur la terre ou dans les cieux; mais un moment après ils découvrirent la campagne, et ils allaient tomber dans un étang, s'ils n'eussent jeté environ 60 livres de lest. Malgré la rapidité de leur course, aucun ne fut blessé : sur six bouteilles de vin, il ne s'en cassa qu'une. »

(1) A moins qu'il ne passe par le but à atteindre.

vents venant de la circonférence DEC, c'est-à-dire la moitié de la rose des vents, pourront être utilisés avec plus ou moins d'avantage : pour tous, excepté AE, il faudra décliner. Ainsi, soit AF une direction de vent qui entraîne la masse d'air renfermant notre appareil qui est en A et veut aller en B, nous mettrons le cap sur AG de manière à décliner sur B par la force des rames et du vent.

Ainsi, semblable au nageur dans une rivière, le ballon allongé, de petites dimensions, prendra plus ou moins facilement toutes les directions en aval de la perpendiculaire au courant; tandis que les directions en amont ne lui seront accessibles que dans les courants faibles.

Le ballon allongé, de petites dimensions, est au ballon colossal de même forme, comme le nageur est au bateau à vapeur : l'un ne peut que rarement aller contre le courant, tandis que l'autre, à l'aide de ses machines, navigue plus ou moins facilement dans toutes les directions; l'impuissance de l'un vis-à-vis la puissance de l'autre est l'image frappante de la stérilité de l'aérostation actuelle vis-à-vis l'aérostation à grandes dimensions.

Aussi ne puis-je m'empêcher de dire que tant que l'on n'abordera pas, pour le ballon allongé, un rayon de 25 à 30 mètres qui permette d'em-

porter une machine de 40 à 100 chevaux, on concevra difficilement qu'on puisse lutter contre des vents assez forts.

Maintenant que nous croyons avoir démontré que les ballons allongés, de petites dimensions, pourront naviguer par la moitié de la rose des vents, fixons plus particulièrement notre attention sur la forme de l'enveloppe; plus tard (1) nous ferons voir que les aérostats de grandes dimensions peuvent naviguer par tous les vents.

De la forme de l'enveloppe.

Nous démontrerons plus loin aussi (4e et 9e condition) que par des considérations relatives à la construction des aérostats de grandes dimensions et à la pression intérieure, il y a nécessité forcée d'employer des surfaces développables; nous ajouterons que le cylindre terminé par deux cônes est la seule forme développable qui soit admissible: car terminé par un fond plane, il manquerait de résistance, et par un fond sphérique, le plus convenable pour la résistance, il cesserait d'être développable; condition indispensable, je le répète, pour plusieurs raisons

(1) *Voir* 6e condition.

que j'exposerai plus loin, et notamment pour la construction de grands aérostats en étoffes peu flexibles. Mais si cette forme cylindro-conique présente des avantages pour la construction (1), elle donne lieu à des inconvénients pour la locomotion, qu'il est bon d'examiner, sans espoir cependant de pouvoir la modifier sensiblement.

Soit BAC (*fig.* 2) un cylindre cône se mouvant dans l'air; la partie conique C étant en avant, les couches d'air traversées, après avoir été entr'ouvertes par le cône AC, se resserreront en A et exerceront de A en B une pression extérieure contraire au mouvement, par l'augmentation des frottements; tandis qu'avec une forme ellipsoïdale B'A'C' (*fig.* 3), cette pression servirait au mouvement même de l'appareil, car l'air entr'ouvert par la partie A'C'D', en se resserrant sur la partie A'B'D', procurerait une pression favorable au mouvement et analogue à celle que nous exerçons sur un noyau de cerise entre nos doigts; elle chasserait en avant le corps pressé. La forme cylindro-conique donne donc lieu à plus de frottements que la forme ellipsoïdale.

Aussi la nature, ce grand maître en fait de mécanique, ne s'est-elle jamais servie de la première

(1) *Voir* 9e condition.

forme, et n'a-t-elle employé que la seconde pour les poissons, les oiseaux, les insectes, les œufs dans l'oviduc, etc. (1). Peut-être sera-t-il bon de se

---

(1) Voici ce que dit, à cet égard, un ancien officier d'artillerie, aujourd'hui général, M. Marey-Monge, dans un intéressant *Mémoire sur les armes blanches;* on lit, page 21 :

« Les corps destinés à pénétrer un milieu présentent un point ou une arête qui fend le corps à pénétrer, un renflement dont l'épaisseur maximum a une position variable sur la longueur totale, une terminaison encore en pointe ou en arête, et des surfaces courbes raccordant ces trois parties. Telles sont les formes des oiseaux pour fendre l'air, des poissons pour fendre l'eau, de la coupe de la partie immergée des oiseaux d'eau, ainsi que des vaisseaux et bateaux. La partie la plus large n'est, dans aucun cas, à l'extrémité opposée à la partie qui ouvre le passage; elle se trouve, au contraire, dans la première moitié. Plus la vitesse de pénétration est grande, et plus la longueur augmente par rapport à la largeur, plus aussi la plus grande largeur se rapproche de la partie pénétrante. En général, les poissons ont une longueur de quatre à cinq fois plus grande que leur largeur, et présentent peu d'épaisseur; la plus grande largeur et la plus grande épaisseur sont ordinairement environ vers le quart ou le tiers de la longueur, à partir de la tête (1). Ils fendent dans

(1) Il y a encore une autre raison de cette plus grande largeur des poissons vers le quart ou le tiers de la longueur à partir de la tête : c'est que le poisson accomplit ses mouvements de rotation en pivotant, à l'aide de sa queue, sur un axe vertical passant par son centre de gravité situé dans sa plus grande largeur. Or, si cette plus grande lar-

rapprocher, autant que possible, de cette forme ellipsoïdale à l'aide d'un cylindre central A (*fig.* 4)

---

le sens de la largeur par deux courbes inclinées qui facilitent la pénétration comme la courbure du sabre, en agissant comme si l'épaisseur était moindre, etc. » L'auteur examine ce qui se passe dans le soc de charrue, les flèches, les piles de pont, les fusées à la congrève, etc.; et page 25 : « Dans les coups d'armes tranchantes, la vitesse fait pénétrer le tranchant; la lame s'introduit en écartant par le biseau les parties divisées; celles-ci reviennent ensuite sur elles-mêmes. Si la lame a la forme d'un coin, si la plus grande largeur est au dos, il arrive que ces parties, en se resserrant, la compriment et diminuent la pénétration; si, au contraire, la lame a une forme telle, que l'épaisseur diminue à partir de la partie voisine du tranchant, qui, par son choc produit dans les corps à diviser un écartement suffisant, il doit arriver qu'aucune pression ni aucun frottement n'aura lieu sur l'arme, excepté dans la partie voisine du tranchant où cela est inévitable; par suite, la pénétration devra être plus grande qu'avec la forme en coin. »

geur se trouvait au milieu de la longueur par exemple, il arriverait :

1°. Que le poisson pivoterait difficilement, en raison de l'égalité des deux bras de levier situés de chaque côté du centre de gravité; de même qu'un vaisseau, en pareil cas, serait dur à la barre;

2°. Dans le mouvement de progression que le poisson obtient par l'agitation en forme de S de la queue (*), l'avant décrirait les mêmes arcs de cercle que l'arrière, il y aurait perte de force, de temps et de vitesse; tandis qu'en plaçant le centre de gravité plus près de la tête, la nature a doté le poisson d'une grande facilité de rotation et de progression.

(*) Borelli, de Motu Animalium. — Barthès, Nouvelle Mécanique de l'Homme et des Animaux.

suivi, de chaque côté, d'un cône B qui se raccorde sur un autre cône C faisant la pointe et formant ainsi un ensemble qui serait toujours développable. Au reste, la pratique, plus que toute autre chose, éclairera cette question qui, même pour les constructions navales, est loin d'être résolue, et fait regretter (comme le dit un auteur anglais) que le génie de Newton ne l'ait pas approfondie et formulée en lois simples (1); mais en aérostation,

---

(1) Extrait of *Mechanic's magazine*, *Museum register*, journal and Gazette, n° 708, saturday, march 4, 1837. — *Pratical remarks on aerial navigation*, by sir George Cayley Bart :

« Malheureusement, même le génie de Newton n'a pu » résoudre par la pratique cette intéressante et difficile » question. Le solide newtonien de moindre résistance a une » proue concave près de l'axe antérieur, et comme l'air est » plus élastique que l'eau, la proue (si nous pouvons nous » servir de ce terme) des oiseaux est aussi concave, tandis » que dans les poissons, la proue, comme dans les navires, » est convexe. J'ai proposé de copier la proue de la bécasse ; le choix de cet oiseau était motivé par ses fréquentes » traversées de 500 milles de mer d'un seul vol, et parce » que dans sa structure la nature semble avoir réuni les » vraies proportions de la force et de la légèreté : elles sont » d'environ trois fois la longueur du grand axe de la section. » Il est prouvé par expérience que l'arrière des solides résis- » tants a une aussi grande importance que la proue ; mais

la condition dominante pour le perfectionnement de la forme des enveloppes sera toujours la nécessité forcée d'être développables (*voir* 4e et 9e condition), condition sans laquelle on ne peut aborder la construction des aérostats de grandes dimensions, qui seuls présentent une force ascensionnelle suffisante pour faire jouer un rôle utile à la navigation aérienne.

Rapport du grand axe au petit. — A ce sujet, Meusnier dit : « que le trop grand allon-» gement est mauvais; lorsque le vent souffle

---

» comme son office est de remplir pendant quelque temps » l'espace à l'abri de la pression du fluide divergent ouvert » par la proue, quelque figure analogue au cône atteindra » suffisamment le but. Il est un dicton parmi les marins, » c'est qu'un vaisseau, pour être un bon voilier, doit avoir » la tête d'une morue et la queue d'un maquereau. La » meilleure forme de vaisseau reste encore, en grande partie, » à trouver. » *Voir* à cet égard la note VII et tout ce que dit M. Poncelet dans sa *Mécanique industrielle*, édition de 1841, pages 555 et suivantes.

Ceux qui fréquentent les ports citent un fait d'une pratique journalière, bien concluant en faveur de la plus grande épaisseur de l'avant : c'est que les mariniers qui s'occupent du flottage des gros bois, des grandes poutres en sapin, préfèrent les tirer par le gros bout pour les faire voyager dans l'eau, et prétendent avoir ainsi bien moins de peine et de résistance qu'en les tirant par le petit bout.

» par secousse, le ballon prend une vitesse différente de celle des poids qui y sont suspendus, » et il en résulte des balancements comparables » au tangage et roulis des vaisseaux. La machine » s'inclinant, l'air inflammable, comme plus » léger, se porte vers l'extrémité la plus haute. » Ce mouvement est d'autant plus considérable, » que le ballon est plus allongé, et il culbuterait » tout à fait l'aérostat si le poids qu'il porte ne le » ramenait à la situation naturelle. Ces considérations ont fourni la connaissance des métacentres. A la limite de l'allongement dont les » machines aérostatiques sont susceptibles, leur » grand axe ne doit pas dépasser le double ou le » triple du petit diamètre (1). »

Analogie de l'aérostat colossal avec le transatlantique.

Au reste, en tout ce qui concerne la forme, les proportions, le degré de vitesse d'un *aérostat colossal marchant par quelque vent que ce soit, avec un temps de parcours à peu près régulier*, il y aura beaucoup à prendre dans les *bâtiments à*

(1) Précis des travaux faits à l'Académie des Sciences de Paris pour la perfection des machines aérostatiques, rédigé par le général Meusnier.

vapeur transatlantiques sans voiles, qui se trouvent, par rapport à leur fluide, dans des conditions de service tout à fait analogues à celles des grands aérostats dans l'air.

Nous demanderons au lecteur la permission d'entrer dans quelques détails à cet égard, en mettant en relief l'analogie et la différence qui existent entre les grands aérostats et les grands bâtiments à vapeur, et entre ces derniers et les bâtiments à voiles. Ces détails sont nécessaires pour bien voir ce que l'aéronautique peut emprunter à la marine.

Le transatlantique ne se meut qu'en vertu de la force de ses machines, il fait son trajet dans un temps donné qui varie peu; il faut donc qu'il surmonte avec avantage la résistance des plus grosses vagues, qui ne sont que la force des plus grands vents transmise au liquide. De même l'aérostat colossal, d'égale force, se mouvra dans l'air avec une surface de section 804 fois (1) plus grande, il est vrai, mais aussi dans un fluide 804 fois moins dense, par conséquent 804 fois plus aisé à fendre : la force motrice nécessaire de part et d'autre sera donc la même; et puisqu'il est démontré journellement que les transatlan-

(1) *Voir* 6e condition. La densité de l'air comparée à celle de l'eau de mer est :: 1 : 804.

tiques fonctionnent d'une manière assez régulière, il est permis d'espérer obtenir dans l'atmosphère une régularité analogue, car, en l'absence de vents favorables, l'aérostat peut varier sa hauteur pour naviguer dans des couches d'air calme, ressource qui n'existe pas en mer, où non-seulement on est exposé à l'action des vagues produites par les vents, mais encore à des courants marins qu'on ne peut éviter.

La principale différence qui existe entre l'aérostat colossal et le transatlantique, c'est que, dans l'un, le support du poids est en dessus, et que, dans l'autre, il se trouve en dessous; mais cette considération ne change rien au mouvement du système une fois en équilibre, la force motrice étant disposée de même, par rapport au centre de gravité.

Les bateaux à vapeur des fleuves sont l'image des petits aérostats; mais ils ne peuvent être comparés, comme les transatlantiques, à l'aérostat colossal marchant à tous vents, car ils ne sont pas en plein fluide comme les deux autres: ils naviguent dans un courant d'eau limité, et leur force n'est destinée qu'à surmonter celle de ce courant, sur lequel les vents ont peu d'action; tandis que le transatlantique et l'aérostat colossal doivent surmonter l'effet, sur le fluide, d'un vent quelconque.

Les bâtiments à voiles se trouvent dans des conditions entièrement différentes, qui font que leur marche, leur forme, sont tout autres que celles des bâtiments à vapeur. Leur moteur, qui est le vent, agit sur les voiles à une certaine hauteur, et nécessite que le petit axe soit le tiers ou le quart du grand axe; car si l'on donnait plus à ce dernier, l'action du vent sur les toiles ferait plonger l'avant qui aurait alors de la peine à se relever, et ralentirait la marche en augmentant le tangage : de plus, les bâtiments à voiles sont assujettis à la condition de naviguer également bien par tous les vents, ce qui nécessite pour leur coque une forme, pour ainsi dire, contraire à toutes les règles d'une bonne marche pour chaque vent.

En effet, s'il fallait construire un bâtiment à voiles destiné à marcher par un seul vent (le vent de bout, par exemple), on lui donnerait une forme qui ne conviendrait plus à un aûtre rumb de vent; or, comme un bâtiment doit marcher également bien par tous les vents, on est obligé de lui donner une forme de coque tenant un peu de toutes celles qui conviennent à chaque rumb, sans satisfaire précisément à aucun. Dans les bâtiments de guerre, où le poids des canons qui sont au-dessus de l'eau vient encore déranger les calculs des meilleures formes pour la vitesse,

la coupe de la proue à la ligne de flottaison est *presque* circulaire; elle est plus effilée dans les bricks. Ces diverses considérations font que, pour la construction des bâtiments à voiles, il n'y a pas de règle fixe; la bonne marche d'un vaisseau repose sur des conditions assez mystérieuses et difficiles à analyser, pour que les ingénieurs soient obligés d'étudier la forme, voilure, mâture, disposition de lest des meilleurs voiliers, et de se faire, d'après cela, certaines règles déduites de l'observation, mais qui n'ont rien de fixe.

Dans les bâtiments à vapeur, comme autrefois dans les anciennes galères, les choses se passent tout différemment: ici, le moteur agit d'une manière régulière, dans une direction invariable, au centre de gravité, et toujours dans l'axe du bâtiment, et non plus au-dessus et dans toutes les directions par rapport à cet axe, comme dans les bâtiments à voiles; on peut donc leur affecter la forme appropriée à cette direction fixe du moteur: aussi leur donne-t-on une forme très-allongée, qui est la plus favorable à l'action de la machine sur l'axe. Dans les transatlantiques, le petit axe est le septième du grand [le *Magellan* (1) a 69 mètres sur $11^m,80$ à la ligne d'eau]. Ici le moteur

(1) *Voir* 6e condition.

agissant à la surface de l'eau, on n'a plus à craindre l'inconvénient d'une grande longueur dont nous avons parlé pour les bâtiments à voiles. On peut donc augmenter le grand axe pour avoir de la vitesse sans accroître le tangage. J'ai insisté sur cette comparaison des grands aérostats avec les grands bâtiments à vapeur, parce qu'en y réfléchissant, on verra qu'il y a beaucoup de rapport entre les deux navigations, et par conséquent beaucoup de connaissances acquises à transporter de l'une dans l'autre.

En résumé, le problème de la navigation aérienne ne sera pleinement résolu que lorsque la locomotion et la direction auront lieu par *quelque vent que ce soit:* nous avons fait voir que, dans la petite aérostation, la moitié seulement de la rose des vents faibles est accessible; que l'aérostat colossal et le transatlantique à vapeur, sans voiles, se trouvent dans une position analogue relativement à leur fluide respectif; que, par conséquent, tout ce que la pratique apprendra sur la construction, vitesse, manœuvre de ce dernier, servira pour le premier.

Plus loin (1) nous ferons voir que l'aérostat colossal, de 450 chevaux par exemple, naviguera par de grands vents et pourra, par un changement

(1) *Voir* 6e condition.

de hauteur, éviter ceux qui seront trop violents, sans cesser de suivre sa direction.

On peut dire que la possibilité de la navigation aérienne, en son plein essor, est devenue fort présumable depuis quelques années (1); que les transatlantiques en pleine mer naviguent par tous les vents, à l'aide de la force motrice qu'ils renferment.

Nous reviendrons sur ce sujet lorsque nous traiterons de l'emploi des machines à vapeur en aérostation.

Conclusion.

Je conclurai, de tout ce qui précède, que la forme cylindro-conique paraît être celle que le raisonnement indique comme devant convenir à l'aéronautique future, et je fais des vœux pour que des expériences soient tentées dans ce sens.

---

(1) Je dis *depuis quelques années*, car il n'y a que depuis quelques années que l'on connaît l'art de faire mouvoir et avancer un gros bâtiment à l'aide d'une force motrice renfermée dans son sein, et qu'on a eu l'idée d'appliquer la vapeur à la navigation.

On avait bien autrefois les galères, manœuvrées à force de bras d'hommes; mais le poids de ces hommes et la place qu'ils occupaient dans le bâtiment serait inadmissible dans un grand aérostat.

QUATRIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT AVOIR UNE CERTAINE PRESSION INTÉRIEURE POUR NE PAS ÊTRE DÉFORMÉ PAR LA RÉSISTANCE DE L'AIR LORSQU'IL NAVIGUERA AU MILIEU DE L'ATMOSPHÈRE, ET POUR RÉSISTER AUX VENTS LORSQU'IL SERA CAPTIF OU A L'ANCRE.

De la pression intérieure ou de l'invariabilité du volume.

Si la pression intérieure ne nous était imposée par la nécessité d'éviter la déformation de l'aérostat dans son mouvement au travers d'un fluide résistant, elle nous serait commandée forcément dans les aérostats à double courbure (1), tels que la sphère, l'ellipsoïde, etc., proposés jus-

(1) On appelle vulgairement *une surface à double courbure* celle qui ne peut pas se développer sur une surface plane : telle est la surface de la sphère, de l'ellipsoïde, etc. ; et *surface développable*, celle qui, au contraire, jouit de cette propriété, de pouvoir être développée sur une surface plane : telle est la surface du cône, du cylindre, du cylindre cône (j'appelle ainsi un cylindre terminé par un cône de même base et de même axe); etc., etc.

qu'ici, par l'obligation d'employer des enveloppes peu flexibles, que nous avons démontrée précédemment, en traitant de la matière de l'enveloppe (*voir* 2e condition).

En effet, on ne peut pas agir avec un ballon d'une étoffe peu flexible et à double courbure avec aussi peu de façon que s'il était en soie ou autres substances flexibles; on ne peut pas lui faire éprouver, comme cela se pratique avec ces derniers, une variation continuelle de volume, soit en montant, soit en descendant, qui provient des pertes de gaz par les orifices inférieurs et supérieurs. A chaque changement de volume, il se fait des plis qui fatiguent l'étoffe et donnent lieu tôt ou tard à des trous.

Ainsi, par exemple, dans une surface à double courbure, comme la sphère, pour peu qu'elle ne soit pas tendue, lorsque le ballon est en l'air, il se formera en dessous des plis flasques rentrants ou sortants qui, tôt ou tard, feront casser l'étoffe peu flexible.

Dans une surface développable, au contraire, comme le cylindre cône (*fig.* 5), dont la coupe perpendiculaire à l'axe est A, il ne se formerait pas de plis, le cylindre s'aplatirait comme A' (*fig.* 6) sans détérioration de l'étoffe; mais alors son enveloppe flasque serait incapable de lutter

contre le moindre courant d'air, sans être exposée à être déformée, chiffonnée et détruite, si, dans cette propriété des surfaces développables, de pouvoir s'aplatir sans plis, nous ne trouvions une ressource précieuse, que nous expliquerons plus loin, pour maintenir la rigidité ou la tension de l'enveloppe.

Cette différence des propriétés des surfaces développables et à double courbure donne lieu de faire une distinction très-importante dans les aérostats, et de les diviser en deux classes, savoir :

Les *aérostats à double courbure*, tels que la sphère, l'ellipsoïde, etc., qu'on a proposés ou exécutés jusqu'à ce jour;

Et les *aérostats développables*, qui sont ceux que je propose.

Des aérostats à double courbure.

Dans les aérostats à double courbure et en étoffe peu flexible, la pression intérieure et l'invariabilité de volume nous sont imposées, comme condition de la navigation aérienne, par deux motifs : 1° par l'emploi des étoffes peu flexibles, dans lesquelles les plis seraient la destruction de l'étoffe; 2° par la nécessité de lutter contre la résistance de l'air.

Jusqu'ici personne n'a pu résoudre d'une ma-

nière satisfaisante le difficile problème de maintenir la pression intérieure et l'invariabilité du volume d'un aréostat à double courbure, quelle que soit la variation de la température et de la pression atmosphérique. Meusnier, seul, a proposé un moyen fort ingénieux qui approche de la solution de la question sans l'atteindre. Ce moyen est très-convenable en théorie, mais inapplicable en pratique.

Son aérostat se compose de deux enveloppes: l'une intérieure, dans laquelle est le gaz, et l'autre extérieure, qui enveloppe la première. Entre les deux, il y a de l'air, qu'il comprime plus ou moins, à l'aide de soufflets, pour maintenir la rigidité de son étoffe extérieure, tandis que l'étoffe intérieure subit les variations de volume du gaz.

Nous examinerons plus loin (1) et en détail cette théorie en en faisant la critique, et nous montrerons pourquoi elle est inapplicable en pratique.

Pour le moment, on peut donc dire que, dans les aérostats à double courbure et en étoffe peu flexible, il n'existe pas encore de moyens de maintenir la rigidité de l'enveloppe et l'invariabilité du volume, qui sont deux nécessités indispensables, la première, pour fendre

(1) *Voir* 5e condition.

l'air, et la deuxième, pour la conservation de l'étoffe peu flexible. Par ce motif, nous devons donc exclure de nos projets d'avenir pour l'aéronautique les aérostats à double courbure, et concentrer nos recherches sur les aérostats développables.

Des aérostats développables.

Les aérostats développables, de forme cylindro-conique par exemple (*fig.* 2), et en étoffe peu flexible, peuvent, comme nous l'avons déjà dit, se détendre et s'aplatir sans plis. Or nous allons démontrer maintenant qu'on peut, à l'aide de cette propriété, maintenir la rigidité de leur enveloppe, nécessaire pour fendre l'air lorsqu'ils navigueront, et pour résister aux grands vents lorsqu'ils seront à l'ancre.

En effet, soient

ABCD (*fig.* 7) la coupe circulaire et perpendiculaire de l'axe d'un aérostat cylindro-conique;
CD la coupe horizontale et passant par l'axe;
G la nacelle;
BCG et BDG le filet;
E et F la coupe de deux compresseurs.

Il est évident que si au-dessous du plan CD, et tangentiellement au cylindre, je suspends à l'extérieur du filet deux pièces de bois (que j'ap-

pellerai les deux compresseurs), dont les coupes sont E et F, et que je les force, par un mécanisme que j'expliquerai plus loin, à se rapprocher, je forcerai aussi le cylindre à s'aplatir, et j'exercerai une pression intérieure qui rendra l'enveloppe rigide.

Si l'on suppose maintenant que de la nacelle on pourra avec facilité rapprocher plus ou moins ces deux compresseurs, on concevra que, quand l'aéronaute verra son appareil se détendre, il pourra aisément le forcer à se retendre par le rapprochement des deux compresseurs, qui restreindra la capacité du ballon au nouveau volume du gaz.

Quand, au contraire, l'aéronaute s'apercevra que le ballon, serré par les deux compresseurs, est trop tendu, il lâchera le cordage qui les retient, et les compresseurs s'éloigneront par la seule force de la dilatation du gaz.

En un mot, semblable au marin qui veille à la tension de ses voiles, en prenant ou lâchant des ris suivant les circonstances, l'aéronaute rapprochera plus ou moins ses compresseurs, suivant l'état de tension de son enveloppe.

On obtiendra donc ainsi une tension constante, avec une variation de volume, il est vrai; mais cette variation de volume ne donnera pas de plis, par suite de la propriété qu'ont les surfaces dé-

veloppables de pouvoir s'aplatir sans plis : on obtiendra donc la rigidité de l'enveloppe nécessaire pour fendre l'air et résister aux grands vents, sans plis destructeurs de l'étoffe, ce qui faisait l'objet du problème.

Maintenant, rien n'est plus simple que d'établir un mécanisme qui fasse rapprocher facilement les deux compresseurs E et F. Voici une manière entre autres :

Soient

E, F (*fig.* 8), deux compresseurs ;

MN et M'N', deux traverses posées sur E et F, et reliées à ces compresseurs par des brides *o*, dans lesquelles elles jouent, de manière à permettre le rapprochement de E et F ;

Q, cylindre armé de cordes liées à E et F, reposant sur MN et M'N', et portant à son extrémité une grande roue S, qui, mise en mouvement par la corde R tirée de la nacelle, fera marcher le système, et rapprochera E et F (1).

Quand les deux compresseurs E et F seront suf-

(1) Il y aura à faire subir une transformation de mouvement à la roue S, de manière qu'elle soit mise en mouvement par une autre roue dont l'axe sera perpendiculaire à l'axe de l'aérostat, et sur lequel s'enroulera la corde tirée de la

fisamment rapprochés, et l'aérostat suffisamment sanglé, on arrêtera et fixera la corde R dans la nacelle; mais au contraire on la lâchera lorsqu'on voudra éloigner les deux compresseurs, ce qui aura lieu par la seule force de la dilatation du gaz.

Aux deux extrémités des compresseurs de l'aérostat cylindro-conique, il y aura donc un petit mécanisme semblable à celui que je viens de décrire; on le logera sous la partie conique de l'appareil, lequel aura alors l'aspect suivant: les cordes R (*fig.* 9) viendront passer autour d'un treuil T, que le pilote aéronaute fera tourner, pour agir à la fois sur les deux compresseurs à chaque extrémité de l'aérostat. Lorsque l'appareil sera comprimé, il aura l'aspect représenté dans la *fig.* 10.

Les deux compresseurs seront placés horizontalement, et non sur champ, afin qu'ils fléchissent le moins possible dans le sens utile, ce qui sera très-important pour éviter les plis, et s'obtiendra en les faisant plus larges au milieu qu'au bout.

---

nacelle, ce qui permettra de la tirer sous un angle aigu; tandis que, comme elle est représentée ici, il faudrait la tirer sous un angle droit. Nous n'avons pas exécuté sur la figure cette transformation de mouvement, pour ne pas la compliquer.

Ainsi (*fig.* 11), la partie *xy* est rectiligne, comme l'arête du cylindre, suivant laquelle le contact de pression s'opérera, et la partie extérieure *zv* est convexe, pour donner de la largeur au centre, et par conséquent de la roideur au bois. (*Voir* expériences sur des lames de bois, note X.)

Ces compresseurs pourront ainsi servir de galerie ou de hunes pour la manœuvre des grands aérostats.

Nous ferons voir plus loin que la pression à donner à l'appareil devra être très-faible; par conséquent, notre mécanisme n'aura pas besoin d'une grande force.

Ainsi, grâce à la propriété des surfaces développables, de pouvoir s'aplatir sans plis, nous pouvons espérer d'échapper à une des plus grandes difficultés de l'aérostation, qui est celle de maintenir en tout temps la rigidité de l'enveloppe peu flexible, rigidité nécessaire pour fendre l'air et résister aux grands vents.

Nous allons examiner maintenant ce qui concerne plus particulièrement la pression intérieure que peut supporter sans crever un aérostat quelconque (à double courbure ou développable). Nous verrons que cette pression intérieure devra être très-petite, sous peine de faire rompre l'enveloppe.

De la pression intérieure dans un aérostat quelconque.

La pression intérieure donne lieu de diviser l'aérostation en deux espèces : 1° l'*aérostation sans pression intérieure*, qui est celle expérimentée jusqu'à ce jour ; 2° *l'aérostation avec une légère pression intérieure*, qui est celle à venir.

Il est intéressant de chercher par le calcul quelles sont les équations algébriques de ces deux espèces d'aérostation. Nous renvoyons pour cela à la note IV, et nous nous bornerons ici à traiter de ce qui regarde plus spécialement la pression intérieure.

Commençons par démontrer la proposition suivante :

La pression intérieure devra être très-faible; car il n'y a pas de substance suffisamment forte et légère, capable de faire une enveloppe d'aérostat en état de résister à une pression intérieure de $0^m,01$ *de mercure, au manomètre à air libre.*

En effet, la pression dans un vase sphérique clos étant en raison directe de la surface, par conséquent la résistance de l'enveloppe est en raison inverse ; d'où il suit que, plus un aérostat d'une substance et épaisseur donnée sera petit, mieux il résistera à la pression intérieure.

Or, considérons un aérostat de petites dimensions, de 10 mètres de diamètre, par exemple; supposons son enveloppe en cuivre, le métal étant une des substances d'enveloppe les plus résistantes. Si je démontre qu'il est incapable de supporter une pression intérieure de $0^m,01$ à l'aide d'une épaisseur compatible avec son ascension, j'aurai démontré qu'un plus grand ballon, à fortiori, ne pourra supporter cette pression avec la même épaisseur de cuivre sans crever, et que, par conséquent, la pression intérieure devra être, dans tous les cas, très-petite, et plus petite que $0^m,01$; ce qui fait l'objet de la proposition.

Or voici ce qui m'est arrivé :

J'ai fait construire un petit ballon de 1 mètre de diamètre, du même cuivre que celui de 10 mètres; je l'ai soumis à une pression intérieure mesurée au manomètre à mercure et à air libre, et j'ai reconnu qu'il crevait à $0^m,20$ de pression.

D'après cette donnée et le principe précité, que la résistance de l'enveloppe est en raison inverse des surfaces, on peut en conclure quelle sera la pression qui fera crever le grand ballon.

En effet, la surface du petit ballon est $3^{mq},14$, et celle du grand ballon, 314 mètres carrés.

On a donc

$$314 : 3,14 :: 0^m,20 : x; \quad \text{d'où} \quad x = 0^m,002.$$

Je me suis assuré par l'expérience que $0^m,002$ de pression dans le grand ballon le faisait en effet crever; car le ventilateur qui lui insufflait l'air, ayant été mis en mouvement par quatre hommes, et ayant donné au manomètre à eau $0^m,026$, et par conséquent au manomètre à mercure $0^m,002$ (1), l'appareil a crevé. Ainsi, $0^m,002$ est la limite de pression intérieure qui fera crever le ballon de cuivre de 10 mètres de diamètre, l'épaisseur du métal étant $0^m,0001$.

D'après ce qui vient d'être exposé, on comprendra que :

Si une épaisseur de cuivre comme celui que j'ai employé, $0^m,0001$,	a pour limite de pression intérieure dans un ballon de 10 mètres de diamètre, $0^m,002$,	et pèse par mètre carré, $0^k,9$,
une épaisseur cinq fois plus grande, $0^m,0005$,	aura une limite de pression intérieure cinq fois plus grande, $0^m,01$,	et pèsera par mètre carré, $4^k,5$. Impossibilité d'ascension.

Mais alors une enveloppe d'aérostat de 10 mètres de diamètre, pesant $4^k,5$ par mètre carré, ne peut s'enlever; on peut s'en assurer en introduisant cette valeur dans la formule de l'aérostat

(1) La densité du mercure à 0 degré est 13,598, celle de l'eau étant 1 à 18 degrés centigrades. (*Annuaire du Bureau des Longitudes*, 1840.)

sphérique (1). Donc une épaisseur de métal de $0^m,0005$, et sa limite de pression intérieure $0^m,01$ correspondante est inadmissible; donc la pression intérieure doit être plus petite que $0^m,01$; ce qu'il faut démontrer.

Cette dernière conséquence existerait à fortiori pour un ballon sphérique de plus grande dimension. Ainsi on trouverait, par des raisonnements analogues aux précédents, que, pour un ballon de 100 mètres de diamètre,

Si une épaisseur de cuivre comme celui que j'ai employé, $0^m,0001$,	a pour limite de pression intérieure dans un ballon de 100 mètres de diamètre, $0^m,00002$ (*),	et pèse par mètre carré, $0^k,9$,
une épaisseur cent fois plus grande, $0^m,01$,	aura une limite de pression intérieure cent fois plus grande, $0^m,002$,	et pèsera cent fois plus, 90^k. Mais alors l'ascension est impossible.
Tandis qu'une épaisseur seulement dix fois plus grande. $0^m,001$,	aura une limite de pression intérieure dix fois plus grande. $0^m,0002$,	et pèsera dix fois plus, 9^k. Dans ce cas il y a possibilité d'ascension.

(1)
$$\begin{aligned} P &= \tfrac{4}{3}\pi R^3(d - d') - 4\pi R^2 p \\ &= 4,19 R^3(1,2) - 12,56 R^2 p \\ &= R^2(5,03 R - 12,56 p). \end{aligned}$$

Pour $R = 5^m$ et $p = 4^k,5$, on a $P = 25\,(25,15 - 56,52)$, quantité négative.

(*) On aurait la proportion suivante (31 400 mètres carrés

Donc la pression intérieure, surtout dans les aérostats de grandes dimensions, devra être très-faible et plus petite que $0^m,01$.

S'il s'agissait d'aérostats cylindro-coniques, on agirait comme précédemment, on ferait un petit modèle de 1 mètre de diamètre, on chercherait sa limite de pression intérieure en le faisant crever, et l'on conclurait celle de tout autre aérostat semblable, de même substance et épaisseur, mais de dimension différente. En l'absence de cette expérience, on peut dire que, *dans les vases* cylindriques, la force qui tend à faire déchirer le cylindre perpendiculairement à son axe, étant deux fois plus petite que celle qui tend à le faire déchirer suivant une arête (1), si l'enveloppe résiste à cette dernière, elle résistera, à fortiori, à la première. Or, celle-là étant la même que celle qui tendrait à déchirer une sphère de même diamètre que le cylindre, il en résulte que ce que nous venons de dire sur la résistance des enveloppes de ballons sphériques est, à fortiori, ap-

---

étant la surface du ballon de 100 mètres, et 314 mètres carrés étant la surface du ballon de 10 mètres) :

$$31400 : 314 :: 0^m,002 : x; \quad \text{d'où} \quad x = 0^m,00002.$$

(1) *Physique* de Peclet, t. I, p. 113.

plicable à celle de ballons cylindriques et cylindro-coniques.

La pression intérieure, nécessaire à la tension de l'aérostat, devant être très-petite, il est à observer que la résistance de l'air qu'éprouvera l'appareil en se mouvant à travers l'atmosphère avec une certaine vitesse, transmettra à l'intérieur une certaine pression (1) qui viendra s'ajouter encore à la première et produira l'effet suivant :

A l'avant, la résistance de l'air soulagera l'effort de la pression intérieure sur l'enveloppe; mais dans tout le reste de la surface, et principalement à l'arrière, cette pression intérieure sera augmentée de celle qui provient de la résistance de l'air, et, de plus, de la diminution de pression extérieure provenant de la raréfaction laissée après lui dans le fluide ambiant par la marche de l'appareil. Cette augmentation de pression intérieure à l'arrière semble heureusement devoir être beaucoup plus petite que celle existant primitivement, autant qu'il est permis d'en juger

(1) La rigidité de l'enveloppe d'un aérostat dépend de la pression intérieure, et diffère essentiellement de la rigidité de la coque d'un vaisseau qui dépend de celle du bois; par conséquent, tout ce qui agit extérieurement sur cette enveloppe, rigide par artifice, agit aussi sur la pression intérieure.

d'après l'état de nos connaissances actuelles sur la résistance de l'air (1).

---

(1) On peut s'en assurer en se servant de la formule de la résistance de l'air de la *Mécanique* de M. Poncelet, p. 543:

$$R = kpA\frac{v^2}{2g},$$

dans laquelle

R est la résistance;

k le rapport de la résistance à la force motrice;

p le poids du mètre cube d'air;

A la projection transversale du corps sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement;

v la vitesse par seconde; $g = 9^m,8088$.

Le poids du mètre cube d'air variant avec la température et la pression barométrique, je le remplace par ses valeurs (Poncelet, p. 622):

$$p = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^m,2991}{1 + 0,00375.n},$$

h étant la hauteur barométrique déduite de l'observation faite à un moment donné, et n la hauteur thermométrique déduite de l'observation faite au même instant; et nous aurons

$$R = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^m,2991}{1 + 0,00375.n}\, kA\frac{v^2}{19,6176}.$$

Maintenant, la navigation aérienne devant avoir lieu à une certaine hauteur, supposons un cas probable :

$h = 0,67$ correspondant à 1110 mètres de hauteur du ballon (*voir* note V, Table II);

En général, les expériences manquent pour calculer l'effet de la résistance de l'air sur la pression intérieure, et l'on peut dire, avec M. Poncelet (*Mécanique industrielle*, page 586), « qu'on

---

$n = 0$ (la température est ordinairement au-dessous de 0 degré à cette hauteur);

$v = 5,5$ par seconde ou 20 kilomètres à l'heure;

$k = 0,63$ d'après la Table de Poncelet (p. 618);

$A = 1$ mètre carré.

Puisque nous voulons savoir la pression par mètre carré, on aura

$$R = \frac{0,67}{0,76}\, 1^k,2991 . 0,63 . \frac{(5,5)^2}{19,6176} = 1^k \text{ par mètre carré;}$$

d'où l'on a, par la proportion,

$$10330 : 0,76 :: 1^k : x, \quad \text{d'où} \quad x = 0,00007,$$

qui sera la pression intérieure provenant de la résistance de l'air.

D'après les Tables de Rouse et Smeaton (*voir* note V, Table I), on trouverait à peu près la même valeur. D'après Meusnier (voir *Journal de Physique*, p. 54, juillet 1784), ce serait $0^m,0001$.

On voit donc que cette pression sera très-petite; mais dans les grandes vitesses elle prendrait une importance telle, qu'elle ferait crever le ballon, quelle que soit la ténacité de la substance employée pour l'enveloppe, ce qui fait craindre qu'un grand aérostat captif ne soit incapable de résister à la pression intérieure provenant d'un très-grand vent de 45 mètres par seconde, et que, par conséquent, il y ait impossibilité de l'empêcher d'être détruit. On trouve, en effet,

» doit faire des vœux pour que de telles expé-
» riences soient enfin tentées avec des moyens de
» précision analogues à ceux déjà mis en usage
» par MM. Piobert, Morin et Didion. »

Il faudrait que sur un chemin de fer, en avant d'un train de wagons, on disposât un ballon cylindro-conique, de petites dimensions, pour voir quelle serait la valeur de la résistance, par une température et une pression barométrique connue, suivant la grandeur, la forme et la vitesse de la surface de la proue. Avec la connaissance de cet élément il serait possible d'établir des calculs qui présenteraient quelque exactitude.

L'enveloppe devant résister à la pression intérieure, il est très-important de fixer sa limite de résistance. J'ai rapporté les résultats concordants des expériences faites sur un ballon de cuivre de 1 mètre de diamètre et sur celui de 10 mètres de diamètre; je rapporterai aussi celles que j'ai faites dans le même but, mais par un autre moyen, et qui malheureusement ne s'ac-

---

que, dans ce cas, la pression intérieure par mètre carré serait de 60 kilogrammes, et au manomètre de $0^m,0004$.

Or, pour le ballon de

$\left\{\begin{matrix} 10^m \\ 100^m \end{matrix}\right\}$ de diamètre, la limite de pression est de $\left\{\begin{matrix} 0,002 \\ 0,0002 \end{matrix}\right\}$;

donc le petit, seul, serait capable de résister.

cordent pas précisément, par leurs résultats, avec les premières, quoique donnant cependant un minimum de résistance.

Je pensais que pour avoir la limite de résistance d'une enveloppe sphérique de 10 mètres de diamètre et en cuivre, il suffisait de connaître celle du mètre carré. Pour cela je supposais le mètre carré de cuivre divisé en 100 rubans de 1 mètre de long et $0^{m},01$ de large; et connaissant le poids (14 kilogrammes) qui faisait rompre chacun de ces rubans, je pensais avoir celui qui ferait rompre le mètre carré en multipliant par 100, c'est-à-dire que 1400 kilogrammes auraient été la limite de résistance du mètre carré de cuivre. Je voulus vérifier par l'expérience directe, rapportée dans la note VI, et je trouvai, au lieu de 1400 kilogrammes, 2284 kilogrammes. Il est vrai de dire que ce chiffre avait été exagéré par une soudure, et que sans elle j'aurais peut-être approché davantage de 1400 kilogrammes. Pour plus de sûreté, je pris 1400 kilogrammes comme limite de résistance du mètre carré, et observant que la résistance est en raison inverse des surfaces, et que si une surface de 1 mètre cube rompt avec 1400 kilogrammes de charge, une surface de 314 mètres cubes (surface du ballon de 10 mètres de dia-

mètre) rompra avec $\frac{1400}{314} = 4$ kilogrammes de charge, je considérai 4 kilogrammes comme la limite de résistance du mètre carré du ballon. Or, 10330 kilogrammes (1) étant le poids, par mètre carré, d'une colonne de mercure ou d'une pression de 0,76 de haut, on a

$$10330^k : 0{,}76 :: 4 : x; \quad \text{d'où} \quad x = 0{,}0003.$$

Ainsi, d'après cette manière de procéder, on a $0^m{,}0003$ pour limite de la pression intérieure du ballon, tandis que par l'expérience des deux ballons on trouve $0^m{,}002$. Donc cette deuxième manière d'expérimenter donne une limite de pression intérieure au-dessous de la véritable, et par conséquent, en l'adoptant, on est sûr de ne pas se tromper.

J'ai pris ici le cuivre pour exemple de la manière d'éprouver la résistance d'une substance d'enveloppe; il est évident qu'on pourrait agir de même pour toute autre. Ainsi, s'il s'agissait d'éprouver, par exemple, un carton composé de dix feuilles de papier, on chercherait le poids qui fait rompre chaque ruban de papier de 1 mètre de

(1) Poncelet, *Mécanique industrielle*, p. 25. M. Peclet, dans sa *Physique*, p. 241, dit 10325 kilogrammes, probablement dans des conditions de température différentes.

long et $0^m,01$ de large, on multiplierait par 10 et l'on aurait le poids qui fait rompre le ruban de carton, lequel, multiplié par 100, donnerait le poids qui fait rompre le mètre carré de carton composé de dix feuilles. Soient P ce poids, S la surface du ballon à construire; $\frac{P}{S}$ serait le poids qui ferait rompre le mètre carré de carton lorsqu'il serait sur la surface du ballon; d'où, par la proportion

$$10330 : 0,76 :: \frac{P}{S} : x,$$

on aurait la pression manométrique intérieure qui ferait crever le ballon. Nous avons vu, par l'exemple du cuivre, qu'elle était bien au-dessous de la véritable. Il serait bon alors de faire construire un petit modèle de ballon projeté, et de le faire crever par un excès de pression pour en conclure celle qui ferait crever le grand ballon, par la proportion suivante :

$$s : S :: H^m : h^m,$$

s étant la surface du petit ballon;

S étant la surface du grand ballon;

H^m la pression manométrique de rupture du grand ballon;

h^m la pression manométrique de rupture du petit ballon.

L'inconnue H^m, ainsi obtenue, pourrait être considérée comme valeur maximum, et la pression manométrique de rupture obtenue par le premier procédé pourrait être considérée comme valeur minimum.

Moyen d'obtenir une légère pression intérieure.

Pour obtenir cette légère pression intérieure, Meusnier a, dans son projet, proposé des soufflets. Mais un système de ventilateurs, ou un seul très-puissant ventilateur, conviendrait mieux.

Dans mon expérience de ballon de cuivre, que j'exposerai plus loin, j'opérais à l'aide d'un ventilateur ordinaire, avec quatre hommes, et je le remplissais en vingt-cinq minutes, c'est-à-dire que j'envoyais en vingt-cinq minutes environ $523^{mc},6$ d'air, qui était sa capacité.

Les ventilateurs ne peuvent pas donner une grande pression, mais ils conviennent pour une faible pression et sont très-recommandables par la promptitude avec laquelle ils agissent.

Au reste, il y a des expériences à faire sur les ventilateurs. Doit-on augmenter leur diamètre, leur largeur ou leur vitesse pour obtenir un effet de pression rapide et puissant? Telles sont les questions à étudier.

Conclusion.

Concluons de tout ce qui précède, que :

1°. Les aérostats à double courbure n'ont pas d'avenir en aéronautique;

2°. A l'aide des aérostats développables cylindro-coniques et des compresseurs, on peut obtenir une légère pression intérieure avec variation du volume, mais sans plis destructeurs de l'étoffe peu flexible;

3°. La pression intérieure dans un aérostat quelconque (à double courbure ou développable) devra toujours être très-faible et au-dessous de $0^m,01$ au manomètre à mercure et à air libre, car il n'y a pas de substance capable de donner à une enveloppe d'aérostat, susceptible d'ascension, une résistance de $0^m,01$; et comme cette légère pression intérieure est indispensable pour que l'appareil puisse, sans se déformer, fendre l'air lorsqu'il naviguera, et résister aux grands vents lorsqu'il sera captif, il en résulte que la plus grande difficulté de l'aéronautique réside, suivant nous, dans cette condition. Cette légère pression, qu'il ne faudra pas dépasser, sera-t-elle suffisante pour fendre l'air et résister aux grands vents? l'expérience seule nous l'apprendra.

CINQUIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT MONTER ET DESCENDRE SANS PERDRE DE GAZ.

Des principaux moyens de monter et descendre, proposés jusqu'à ce jour.

Chacun sait que dans les aérostats ordinaires, il faut, par l'appendice inférieur, perdre du gaz à mesure qu'ils montent (cela par suite de la diminution de pression extérieure), et en perdre encore par l'appendice supérieur pour qu'ils redescendent (1); de sorte que ces pertes successives, qui sont peu importantes dans les aérostats à petites dimensions, deviendraient dans l'aérostation colossale un obstacle immense par l'impossibilité de les réparer.

Monter et descendre sans pertes de gaz, tel a

(1) Nous ne parlons pas du lest jeté pour s'alléger et remonter, car son effet est trop évident. Le lest, à notre point de vue d'avenir, sera bon comme ressource de sauvetage, dont on ne devra user qu'avec sobriété et dans les cas extrêmes.

été le problème qu'ont cherché à résoudre une foule d'auteurs aérostatiques. Mille moyens ont été proposés; nous nous bornerons à faire un examen rapide de ceux qui méritent de fixer notre attention, en passant au creuset du calcul le principe sur lequel ils reposent, et en les considérant toujours au point de vue de leur application dans les grandes dimensions, qui est l'avenir de l'aéronautique.

Nous laisserons à l'histoire de l'aérostation le soin de raconter les détails circonstanciés des expériences, et nous relaterons d'abord comme point de départ de l'art de la navigation aérienne les deux moyens (le feu et les pertes de gaz) qui ont servi, dans sa première enfance, à produire l'ascension et la descente.

1°. *Ascension et descente des montgolfières par le feu.*

Les ballons appelés *montgolfières*, remplis d'air ordinaire, s'enlevaient à l'aide d'un feu entretenu à la partie inférieure qui échauffait l'air intérieur, le dilatait, le rendait plus léger que l'air ambiant déplacé et enlevait l'appareil. Quand on diminuait le feu, le ballon redescendait. Comme nous avons déjà signalé (*voir* 1re condition) les inconvénients des montgolfières, et vu qu'elles

n'avaient aucune chance d'avenir, nous ne nous y arrêterons pas davantage; car elles n'ont d'autre intérêt pour nous que celui qu'on attache aux premiers signes de vie d'un enfant qui vient de naître.

2°. *Ascension et descente des ballons à hydrogène par les pertes de gaz.*

Ce procédé, comme nous l'avons dit plus haut, est évidemment inadmissible dans les ballons à grandes dimensions, car les pertes de gaz seraient considérables et s'élèveraient à des sommes énormes, par suite du prix de l'hydrogène. Elles ne pourraient d'ailleurs se répéter souvent, ni se réparer facilement.

3°. *Ascension et descente des ballons à hydrogène par l'adjonction d'un ballon à feu ou montgolfière.* (Expérimenté à Boulogne par Pilâtre de Rozier, en 1785.)

C'était une idée neuve, hardie, et que personne n'a développée, que celle dont l'expérience coûta la vie à Pilâtre de Rozier. Frappé des inconvénients des montgolfières (emploi du combustible) et des ballons à hydrogène (pertes de gaz), pour monter et descendre, Pilâtre de Rozier eut probablement (car il n'a pas développé son pro-

jet) l'idée qui se présente assez naturellement à l'esprit, de supprimer ou diminuer ces deux obstacles l'un par l'autre; il imagina d'adjoindre au-dessous de son ballon à hydrogène une montgolfière de petites dimensions, qu'il aurait échauffée pour monter, et refroidie pour descendre. Sa conception était bonne, mais l'exécution fut loin d'être mûrie et entourée des précautions de la plus simple prudence. Il s'enleva donc avec son brasier qui, selon l'heureuse expression de M. Biot, « était un fourneau sous un magasin à poudre. » Le feu prit (on ne sait par quel accident) à la montgolfière, fit détoner le ballon à hydrogène qui était au-dessus, et le malheureux aéronaute retomba broyé sur les rochers de Boulogne, où, depuis, on a élevé un monument en commémoration de ce déplorable événement.

Cette catastrophe doit plutôt faire condamner l'imprudence que l'idée de Pilâtre de Rozier. On conçoit, en effet, que si l'on suppose (*fig.* 12) en équilibre à terre, deux ballons (qu'il s'agit de faire monter et descendre sans pertes de gaz) placés l'un au-dessus de l'autre, l'un supérieur A, plein d'hydrogène, et l'autre inférieur B, plein d'air froid, il suffira de quelques kilogrammes de force ascensionnelle donnés par l'échauffement du ballon B, pour déterminer l'ascension du système.

On montera donc sans pertes de gaz (1) et sans beaucoup de combustible, puisque B aura des dimensions très-restreintes, un rayon de 8 mètres par exemple (2), suffisantes pour donner quelques kilogrammes de force ascensionnelle.

---

(1) En supposant que le ballon A n'ait été rempli qu'aux deux tiers, pour permettre le jeu de la dilatation provenant de la diminution de pression barométrique pendant son ascension.

(2) Supposons qu'on entretienne dans la montgolfière une température de 100 degrés. Nous voyons (1re condition) que la densité de l'air à cette température est 0,72 lorsque celle de l'air à 0 degré est 1. Nous savons qu'à 0 degré le poids du mètre cube d'air $d = 1^k,3$. Nous aurons donc, en appelant d' le poids du mètre cube d'air à 100 degrés,

$$1 : 0,72 :: 1^k,3 : d'; \quad \text{d'où} \quad d' = 0,94.$$

Soit $p = 0,9$ le poids du mètre carré de l'enveloppe en cuivre.

On aura, en remplaçant d, d' et p par leur valeur dans la formule du ballon sphérique, déjà rapportée page 26,

$$P = \frac{4}{3}\pi R^3(d - d') - 4\pi R^2 p = 12,56 R^2\left(\frac{R}{3}0,36 - 0,9\right)$$
$$= 12,56 R^2(R\,0,12 - 0,9).$$

Pour rompre l'équilibre dont jouit à terre (par hypothèse) notre système de deux ballons, il suffira, dans les aérostats de petites dimensions, de quelques kilogrammes de force ascensionnelle donnée par la montgolfière. Pour plus de précau-

On redescendra aussi sans pertes de gaz, en arrêtant le feu. Ainsi, d'un côté, les pertes de gaz

---

tion, donnons-lui un rayon capable, à 100 degrés, de procurer par exemple 48 kilogrammes de force ascensionnelle.

En faisant

$$R = 8^m, \quad \text{on trouve} \quad P = 48^k,23.$$

On ne pourra pas diminuer beaucoup ce rayon, car

$$R = 7^m,5 \quad \text{donne} \quad P = 0^k,$$

ce qui rendrait nul l'effet de la montgolfière.

$$R = 10 \text{ mètres} \quad \text{donne} \quad P = 376^k,8;$$

mais il serait difficile d'entretenir une température de 100 degrés dans une montgolfière de cette dimension.

Si l'on se borne à entretenir une température intérieure de 50 degrés, ce qui paraît très-possible dans les dimensions suivantes, alors la densité de l'air à cette température est 0,84 (*voir* 1re condition):

$$d' = 1,092 \quad \text{et} \quad d - d' = 0,208;$$

par conséquent $P = 12,56 R^2 (R\,0,069 - 0,9)$.

Si l'on fait $R = 20^m$, on a $P = 2411^k,52$;
$R = 30^m$, $P = 13225^k,68$ (*);
$R = 40^m$, $P = 37378^k,56$.

Notons ces résultats pour en faire une application plus loin.

« L'*expérience* nous apprit, dit Joseph de Montgolfier

(*) On obtient à peu près le même résultat (13232 kilogrammes) en introduisant, dans la formule du ballon cylindro-conique (*voir* 6e condition), $P = 16R^3 (d - d') - 37,2 R^2 p$, les valeurs ci-dessus,

$$d - d' = 0^k,208, \quad p = 0^k,9.$$

seront supprimées, et, de l'autre, la consommation du combustible fort diminuée; mais la nécessité d'emporter du combustible n'en reste pas moins un obstacle très-grave dans les grandes dimensions. Cependant, comme l'idée de Pilâtre de Rozier peut, dans quelques cas actuels, trouver une application utile, nous rapporterons comment nous ferions cette expérience si elle était à recommencer :

Le ballon A serait en carton, mais le ballon B serait en métal, pour éviter les chances d'incendie; et tous deux seraient développables ou cylindro-coniques, afin de permettre le jeu de la dilatation sans détérioration de l'enveloppe. Le feu serait entouré d'une toile métallique, comme les lampes de mineur de Davy, pour empêcher la détonation dans le cas d'une fuite d'hydrogène; et ce feu, au lieu d'être entretenu, comme en 1783, par le moyen d'un brasier sur lequel on jetait avec la fourche, de la paille, du bois, etc., au risque continuel d'enflammer l'enveloppe

---

(dans son Mémoire lu à l'Académie de Lyon, *voir* Faujas de Saint-Fond, tome II, page 104), qu'une chaleur de 50 degrés au-dessus de celle de l'atmosphère allégeait le pied cube d'air du poids d'environ dix deniers, etc.; donc la température de 50 degrés est admissible. »

de papier, de toile ou de soie; ce feu, disons-nous, serait celui d'une vaste lampe à esprit-de-vin, à mèches concentriques et à double courant d'air, employées dans les phares de Fresnel, dont la puissance calorifique est considérable (1); on en réglerait l'intensité en élevant plus ou moins la mèche concentrique, de manière que d'une main on serait maître de graduer la chaleur, ou de monter et descendre à volonté.

Maintenant, si l'on suppose l'aérostation arrivée à son complet développement, c'est-à-dire si l'on admet un aérostat en étoffe peu flexible (en carton par exemple), cylindro-conique, fendant l'air à l'aide de puissantes machines à vapeur (*voir* 6e condition), le moyen de monter et descendre de Pilâtre de Rozier vient à prendre une certaine importance qui ferait concevoir la tentative périlleuse qu'a voulu faire le malheureux aéronaute, si, de son temps, la machine à vapeur eût reçu les développements qu'on lui a donnés depuis. Alors, en effet, il n'est plus nécessaire d'emporter du combustible pour chauffer le ballon inférieur B (*fig.* 13); la chaleur de la fumée

(1) Nous avons vu une de ces lampes fondre du plomb à 5 mètres au-dessus de son feu.

sortant de la cheminée de la machine à vapeur serait chargée de ce soin. On introduirait cette cheminée C dans le ballon de cuivre inférieur B, et une seconde cheminée D communiquant avec la première conduirait la fumée dehors, quand on voudrait redescendre et refroidir B.

On est en droit d'admettre qu'une puissante cheminée pourrait ainsi porter à près de 50 degrés la température intérieure d'un ballon métallique B de 30 mètres de rayon. Or, dans ce cas (R = 30 mètres), nous avons vu, page 83, qu'on pourrait obtenir une force ascensionnelle de $13225^{\text{kilom}},68$. Ainsi, on pourrait faire varier de 0 kilogramme à $31\,225^{\text{k}},68$ le poids de l'appareil, ce qui serait suffisant aux plus puissants aérostats, pour pouvoir monter et descendre sans pertes de gaz. Cependant, il faut le dire, il reste à démontrer, par l'expérience, qu'une aussi vaste capacité que celle du ballon de cuivre B pourrait être portée à une température de 50 degrés par la chaleur sortant de la cheminée d'une machine à vapeur de 500 chevaux par exemple. Dans tous les cas, on pourrait y adjoindre comme auxiliaire une vaste lampe à esprit-de-vin. Admettons donc la possibilité, et continuons le raisonnement.

Le combustible qui servirait à faire marcher la machine à vapeur, c'est-à-dire à la progres-

sion du ballon, servirait encore, par sa fumée, à son ascension ou à sa descente. Ainsi la progression et l'ascension seraient le double effet tiré de la combustion du charbon; de plus, cette fumée déposerait dans le ballon de cuivre B sa vapeur d'eau, le charbon en poussière qu'elle entraîne, et l'acide carbonique condensé dans un lait de chaux : il en résulterait que la combustion du charbon ne donnerait lieu à aucune déperdition de poids dans l'appareil, puisque la partie solide, les cendres, seraient conservées, et que la partie gazeuse serait condensée et recueillie dans le ballon de cuivre. On détruirait ainsi une objection faite contre l'emploi des machines à vapeur dans les aérostats, savoir : comment remplacera-t-on la perte de poids provenant de la combustion du charbon?

De plus, les chances d'incendie seraient supprimées, puisque les étincelles sortant de la cheminée iraient se perdre et s'éteindre dans la vaste capacité du ballon de cuivre. Quant aux étincelles sortant par la cheminée D destinée à faire redescendre l'appareil, elles seraient reçues dans un réservoir en toile métallique qui s'opposerait à la détonation (comme nous l'avons dit plus haut).

Sans doute le ballon de cuivre B aurait des

trous et des fissures à sa surface. Nous avons démontré (2e condition) que c'était inhérent à l'emploi du cuivre comme enveloppe; mais cet inconvénient est bien moindre pour un ballon à air chaud que pour un ballon à hydrogène, la différence de densité de ces deux gaz faisant que l'air chaud est moins fugace que l'hydrogène.

Il est évident ensuite que ce ballon de cuivre B devrait être développable, c'est-à-dire cylindro-conique, pour pouvoir changer continuellement son volume, sans plis et sans détérioration (*voir* 4e condition), et probablement être armé de compresseurs comme le ballon supérieur A, ce qui lui donnerait une certaine tension capable de lui permettre de résister à un courant d'air.

Comme on le voit, ce moyen de monter et descendre par l'adjonction d'un ballon à feu serait excessivement satisfaisant, si l'on admettait le complet développement de l'aérostation à grandes dimensions (560 mètres sur 140 mètres, *voir* 6e condition), l'emploi de la vapeur, et la possibilité de porter à 50 degrés de température, à l'aide de la cheminée de la machine à vapeur, la capacité du ballon de cuivre cylindro-conique (de R = 30 mètres), capacité qui sera un peu plus grande que celle du vaisseau de l'église de la Madeleine, qui n'a que 100 mètres sur 42 mètres

hors œuvre (1). Aussi laisserons-nous à l'avenir le soin de porter un jugement définitif sur ce qu'il y a de praticable dans ce moyen de monter et descendre appliqué aux grandes dimensions.

4°. *Ascension et descente à l'aide d'une vessie natatoire semblable à celle du poisson, proposée par le baron Scot.*

Scot a publié sur l'aéronautique un ouvrage (2) où il prédit un succès infaillible à son projet, avec une assurance qui nous semble déplacée, tant qu'elle n'a pour elle la sanction de l'expérience (3); cependant, nous le reconnaissons, Scot, malgré de nombreuses incorrections, notamment sur la résistance qu'auront à vaincre ce qu'il appelle ses *agents de vitesse;* malgré les

(1) Le ballon de cuivre cylindro-conique de R = 30 mètres, pour lequel nous avons fait les calculs de la note (*), page 83, est composé d'une partie cylindrique AB (*fig.* 2), dont la longueur AB = 2 diamètres = 2.60^{m} = 120 mètres, et de deux parties coniques, dont la longueur de chacune égale 1 diamètre, et pour les deux, 2 diamètres = 120 mètres. La longueur totale est donc de 240 mètres.

Mais en ne considérant que la partie cylindrique, on peut dire que ce ballon aura 120 mètres sur 60 mètres, proportions plus grandes que celles de la Madeleine.

(2) *Aérostat dirigeable à volonté;* par le baron Scot. 1789.

(3) En général, l'assurance emphatique dans l'annonce

dépenses que nécessiterait la carcasse sur laquelle il propose d'exécuter son projet, carcasse impossible à réaliser en grandes dimensions; Scot, malgré ces défauts, n'en est pas moins l'auteur d'un assez bon ouvrage. Il a émis deux idées qui le distinguent particulièrement, et qui vont faire l'objet de notre critique : 1° l'idée de sa vessie natatoire; 2° celle de ses manœuvres intérieures. Examinons-les successivement.

Vessie natatoire. — Scot prend un poisson pour modèle d'un aérostat, et s'attache à l'imiter en tous points, dans sa forme, son gouvernail, sa vessie natatoire. Cette imitation avait déjà été tentée dans l'expérience de Saint-Cloud, du 15 juillet 1784, par le duc de Chartres, les frères Robert et une autre personne, rapportée dans la 3e condition. Examinons donc la valeur de cette imitation de la vessie natatoire des poissons.

On sait généralement que les poissons (*voir* note VII, des poissons dans leur rapport avec les aérostats) sont porteurs d'une vessie natatoire renfermant du gaz qu'ils dilatent ou contractent

---

du succès est trop souvent le défaut des auteurs aérostatiques. Le doute leur est inconnu. Dieu sait, cependant, la réserve que l'on doit avoir en pareille matière, tant que de nombreuses expériences ne seront pas venues éclairer la question.

à volonté, à l'aide de muscles particuliers, pour se rendre plus ou moins légers afin de pouvoir monter et descendre. Ainsi, par exemple, en dilatant leur vessie, ils augmentent leur volume et, par suite, le poids du liquide déplacé; et comme leur propre poids ne varie pas, la différence de ces deux poids devient plus grande, le poisson devient plus léger relativement au poids du liquide déplacé, et il monte. En contractant, au contraire, il devient plus lourd relativement au poids du liquide déplacé, et il descend (1).

Scot a voulu imiter cette disposition, en établissant, dans son projet de ballon, une vessie pleine d'air; mais il n'a pas fait attention à une chose, c'est que le poisson opère à l'aide de deux fluides (le gaz à l'intérieur et l'eau à l'extérieur) de densités très-différentes, tandis que son aérostat n'opère qu'avec un seul fluide (l'air à l'intérieur et à l'extérieur).

Il en résulte cette différence, que dans le pois-

(1) De là la cause qui fait rester à fleur d'eau un poisson malade, ou nouvellement mort : le muscle contracteur de la vessie n'agissant plus, l'air est abandonné à toute sa force de dilatation, détend cette vessie à l'excès et produit l'ascension. Lorsque, par suite de la décomposition de cette vessie, l'air parvient à se dégager, le poisson mort redescend au fond de l'eau.

son la variation du volume (égale à celle de la vessie) produit une variation dans le volume et dans le poids du liquide déplacé, qui est égale à la variation du volume de la vessie multiplié par la *densité de l'eau;* or, la densité de ce liquide étant très-grande, comparativement à celle du gaz de la vessie, la moindre variation dans le volume de cette dernière produit un poids très-grand relativement au poids total, et fait que, dans le poisson, la capacité de la vessie peut être très-restreinte relativement à son volume, sans cesser d'être un instrument très-puissant, très-sensible dans ses effets.

Mais dans l'aérostat de Scot et de MM. le duc de Chartres et Robert, il n'en est plus ainsi : la variation du volume (égale à celle de la vessie) produit une variation dans le volume, et, par suite, dans le poids de l'air déplacé, qui est égale à la variation du volume de la vessie multiplié par la *densité de l'air extérieur.* Or, la densité de l'air étant 1, celle de l'eau de mer est 804; de sorte qu'en supposant un poisson de mer de même dimension que l'aérostat de Scot, et en appelant V la variation du volume des vessies de part et d'autre, la variation de poids qui en résulterait serait :

Pour le poisson..... $V \times 804$,
Pour l'aérostat..... $V \times 1$;

ce qui veut dire que la variation de volume étant égale de part et d'autre, le poisson aurait à sa disposition une variation de poids 804 fois plus grande que l'aérostat; ou, ce qui revient au même, la variation de volume de la vessie de l'aérostat devrait être 804 fois plus grande que celle du poisson pour produire le même effet (1). D'où l'on peut conclure que jamais l'énergie d'ascension et de descente de l'aérostat de Scot n'approchera de celle que le poisson obtient par sa vessie aérienne : car la vessie du poisson est le $\frac{1}{36}$ environ (*voir* note VII) du volume du poisson; il faudrait donc que la vessie de l'aérostat fût égale à $804\frac{1}{36} = 22$ fois le volume du poisson qui est égal à celui du ballon, c'est-à-dire que la

(1) On pourrait remarquer ici : 1° que, dans le poisson, la vessie natatoire est un agent d'ascension et de descente tout à fait accessoire, car sans elle, il peut à l'aide de la robuste constitution des muscles latéraux de sa queue, obtenir le même effet (*voir* note VII); 2° que les variations de hauteur que doit parcourir l'aérostat dans l'air sont plus grandes que celles des poissons dans l'eau; 3° que les densités des couches d'air sont plus variées que celles de l'eau. On en conclura facilement que les agents d'ascension et de descente de l'aérostat devraient être non pas 804, mais un bien plus grand nombre de fois plus puissants que ceux du poisson de même volume, pour obtenir le même effet relatif.

vessie serait 22 fois plus grande que lui : ce serait donc un second ballon 22 fois plus grand que le premier, qu'il faudrait avoir près de ce dernier, pour le comprimer ou le dilater à volonté, afin d'obtenir une variation de poids égale à celle du poisson de même volume. Mais alors quel embarras, et ensuite comment comprimer suffisamment ce second ballon, surtout si l'on se rappelle que la pression des enveloppes aérostatiques ne doit pas dépasser $0^m,01$ (*voir* 4e condition)?

Repoussons donc la prétention impraticable de procurer aux aérostats dans les airs l'agilité des poissons dans les eaux; toutefois examinons une autre idée qui se rapproche de la précédente, celle d'un second ballon compressible, mais accessoire et bien plus petit que le ballon principal. Admettons qu'on parvienne à lui faire subir une pression extrême de $0^m,01$ et que l'étoffe ne soit pas crevée : quelle sera l'augmentation de poids obtenue?

1 mètre cube d'air à 0 degré du thermomètre et à 0,76 du baromètre, pèse $1^k,3$: que pèsera-t-il à $0,76 + 0,01 = 0,77$?

On a

$$1^k,3 : 0,76 :: x : 0,77, \quad \text{d'où} \quad x = 1^k,3171;$$

l'augmentation de poids du mètre cube d'air, pour une augmentation de pression de $0^m,01$, est

donc

$$1^k,3171 - 1^k,3 = 0^k,0171.$$

Ainsi, pour 100 mètres cubes, l'augmentation serait de $1^k,71$; résultat presque insignifiant lorsqu'on le compare à l'embarras de ce ballon accessoire. Mieux vaudrait presser le gaz lui-même à l'aide des compresseurs (*voir* 4e condition); car, dans ce cas, on n'aurait qu'un seul ballon au lieu de deux, et l'on agirait sur une bien plus grande quantité de mètres cubes. On trouverait, par un calcul analogue à celui de plus haut, que 1 mètre cube d'hydrogène qui, à 0 degré du thermomètre et 0,76 du baromètre, pèse $0^k,08$, pèserait $0^k,081$ à 0,77 : l'augmentation de poids ne serait que de $0^k,001$ par mètre cube pour une augmentation de $0^m,01$ de pression; mais comme la masse d'hydrogène serait bien plus considérable que la masse d'air du ballon accessoire, on obtiendrait une augmentation de poids à peu près égale au résultat précédent, sans l'embarras d'un second ballon.

Ainsi, nous voyons par les calculs ci-dessus, que l'imitation (entière ou partielle) de la vessie natatoire des poissons, pour faire monter et descendre un aérostat, ne présente aucun avantage, et qu'il vaut mieux presser directement l'hydrogène du ballon. C'est ce que nous examinerons tout à

l'heure dans le projet de Meusnier; mais, auparavant, achevons notre critique du projet de Scot.

Scot s'est trompé, non-seulement dans le principe de l'imitation de la vessie natatoire des poissons, mais encore dans la manière dont il a cru l'imiter. Sa vessie est une poche A (*fig.* 14) rentrante, à l'aide d'une corde passant sur une poulie B située dans l'intérieur du ballon et communiquant avec la nacelle, ou sortante A′ (*fig.* 15) à l'aide d'un poids C.

Or, de deux choses l'une : ou le ballon est complétement gonflé, ou il est flasque.

S'il est complétement gonflé : par l'opération (*fig.* 14), c'est une pression qu'il exerce sur tout le gaz, et alors il n'y a plus de rapport avec la vessie natatoire, l'opération revient à comprimer la totalité du gaz. Par l'opération (*fig.* 15), il rend le ballon flasque, sans diminution de poids. Pour qu'il y eût diminution de poids dans ce cas, il faudrait que l'enveloppe du ballon fût rigide.

S'il est flasque : par l'opération (*fig.* 14), il déplace seulement le gaz et tend à gonfler complétement le ballon, sans augmentation de poids, tant qu'il n'y a pas un complet gonflement; quand le gonflement est complet, on retombe dans le cas précédent. Par l'opération (*fig.* 15), il déplace seulement le gaz, sans diminution de poids.

Ainsi, l'effet prétendu est nul ou revient à comprimer la *totalité* du gaz de l'aérostat, et ni l'un ni l'autre de ces deux cas ne présente de rapport avec la vessie natatoire des poissons; de plus, le moyen de compression du deuxième cas n'est pas heureux.

Poursuivons notre critique, et disons quelques mots de ce que l'auteur appelle ses manœuvres intérieures.

Des manœuvres intérieures. — La forme du poisson étant admise comme avantageuse, il fallait trouver moyen d'agencer les manœuvres du gouvernail. L'agencement extérieur était possible (Meusnier l'a prouvé), mais difficile. Scot a eu l'idée hardie de placer ces manœuvres dans l'intérieur de l'aérostat, au milieu du gaz, et de faire sortir les cordages par des gaînes susceptibles de rentrer et sortir avec eux, comme une manche d'habit que peut faire rentrer et sortir à volonté la main qui en tient l'extrémité. Il est évident qu'à l'aide de cette disposition les manœuvres intérieures pouvaient avoir lieu sans perte de gaz.

En résumé, ces idées de vessie et de manœuvres intérieures, quelque neuves qu'elles paraissent au premier abord, sont complétement inadmissibles au point de vue du calcul et de la pratique; car, d'une part, le calcul démontre que l'effet obtenu

par la vessie est nul ou revient à comprimer la totalité du gaz, et, dans ce dernier cas, le système de compression est défectueux; puis, d'autre part, on se demande quelle serait la résistance de ces gaînes en étoffes flexibles, rentrant et sortant continuellement, en frottant sur elles-mêmes? Ensuite, que signifient toutes ces manœuvres intérieures qu'on ne peut ni surveiller, ni réparer sans vider l'appareil, c'est-à-dire sans une dépense énorme? Ces diverses considératioes nous amènent à regarder la théorie de Scot comme étant sans valeur.

5°. *Ascension et descente par la dilatation et la compression du gaz du ballon à l'aide d'une double enveloppe.*

Ce moyen a été proposé par le général du génie Meusnier, celui de tous les auteurs aérostatiques (1) qui a traité avec le plus de science et de profondeur la question des aérostats, pour laquelle

(1) On doit regarder Meusnier comme le plus remarquable des auteurs aérostatiques, et, dans l'intérêt de la science, nous disons qu'un des premiers soins d'une Société aéronautique, si elle avait les fonds nécessaires, devrait être de publier son atlas. Pour bien faire apprécier la portée des beaux travaux de ce savant, il convient que nous disions en peu de mots ce qu'il était.

Monge, si juste appréciateur du mérite, disait souvent que

sa mort prématurée sera toujours regrettable.

Meusnier avait si bien senti la différence de ressources que présentent le poisson *dans l'eau* et l'aérostat *dans l'air*, qu'au lieu de faire subir à la vessie d'air une variation de pression, ce qui produit une variation de poids insignifiante, il a fait agir sa variation de pression sur la totalité du gaz, ce qui produit un effet beaucoup plus important, comme nous allons le voir.

---

l'homme le plus remarquable qu'il eût rencontré pour l'intelligence, c'était Meusnier.

Meusnier était un officier du génie très-distingué, membre de l'Académie des Sciences de Paris et auteur de plusieurs Mémoires remarquables.

Il travaillait depuis dix ans à l'étude de l'aérostation à Cherbourg, où il s'était fait employer pour se livrer à une foule d'expériences sur la résistance des cordes, toiles et autres substances qui se trouvaient dans l'arsenal de la marine; lorsqu'en 1793 la guerre l'appela sur les bords du Rhin, où il fut tué par un boulet au siége de Mayence. A sa mort, « les Prussiens (dit M. de Lamartine dans son *Histoire » des Girondins*, tome VI, page 282), saisis d'admiration et » de respect, cessèrent leur feu, pour donner aux Français » le temps d'élever la tombe de leur général dans un des bas- » tions de la ville. — Je perds un ennemi qui m'a fait bien du » mal, s'écria Frédéric-Guillaume; mais la France perd un » grand homme. »

Ses plans et papiers étaient restés à Cherbourg, et Monge

Le procédé de Meusnier est une espèce d'imitation de la vessie natatoire des poissons, à cela près cependant, que ceux-ci font varier leur volume ou la quantité de liquide déplacé, ou leur poids relatif, en dilatant ou comprimant leur vessie qui n'est qu'*une partie d'eux-mêmes*, et qui, de plus, est *complétement fermée* (1); tandis que Meusnier di-

---

les y ayant recueillis dans un de ses voyages pour les examens de la marine, les déposa à Paris, au ministère de la Guerre, qui plus tard les renvoya à l'école de Metz, où ils sont encore. Il en existe une copie à la bibliothèque du Comité du génie à Paris. L'atlas de Meusnier, la brochure explicative, et le Mémoire qu'il a présenté à l'Académie des Sciences, le 3 décembre 1783, forment à peu près les seuls travaux importants qu'il ait laissés sur l'art aérostatique.

Dans ce bel atlas, on voit avec tous ses détails les plans, coupes, élévations d'un magnifique aérostat ellipsoïdal de 87 mètres de grand axe et 43 mètres de petit axe, destiné à porter trente hommes avec soixante jours de vivres. Les plans sont traités avec autant de soins, de détails et de calculs qu'on peut le faire pour une construction navale. J'ai cru rendre service à la cause de la science aéronautique, en publiant quelques-unes des planches de cet atlas. Les *fig.* 16, 58, 59, 60, 61 donneront une idée de l'importance de son travail.

(1) Les avis sont partagés sur l'existence, dans le poisson, d'une communication de la vessie aérienne à l'œsophage. Dans tous les cas, si elle existe, il est probable qu'elle doit

late ou comprime la *totalité du gaz de l'aérostat*, afin d'en faire varier le poids à l'aide d'une *vessie ouverte à un courant d'air*. Mais comment parvient-il à dilater ou comprimer le gaz du ballon?

Développons en peu de mots son projet, tel qu'il est décrit dans son atlas :

Le ballon était composé de deux enveloppes : l'une intérieure, légère, flexible, renfermant le gaz, était susceptible de varier de volume ; l'autre extérieure, plus forte (il l'appelle *enveloppe de force*), capable de résister à une pression intérieure de 3 pouces $\frac{1}{4}$ $0^m,081$ de mercure (1), au manomètre de mercure à air libre, était destinée à conserver un volume constant par une pression plus petite que $0^m,081$. Il introduisait de l'air en dessous et entre les deux enveloppes, à l'aide de soufflets, ce qui faisait remonter l'enveloppe in-

être fermée pendant les fonctions de la vessie aérienne; autrement la pression ferait passer le gaz dans l'œsophage, et produirait des éructations qui annuleraient l'effet de cette vessie.

(1) Nous avons vu (4e condition) qu'il n'y avait pas de substance capable de donner à une enveloppe d'aérostat une résistance de $0^m,01$ au manomètre, et je ne comprends pas comment Meusnier suppose son enveloppe en état de résister à une pression intérieure de $0^m,081$. Il ne dit pas dans sa Notice comment il fabrique son enveloppe de force.

térieure, et augmentait le volume d'air renfermé, aux dépens de celui de l'hydrogène, qui subissait, par ce moyen, une certaine pression égale à celle de l'air placé au-dessous. Voici la coupe du ballon nu, dans le sens de sa longueur, au moment de son départ, telle qu'elle est représentée en grand dans l'atlas :

A, A′ (*fig.* 16), tuyaux d'air débouchant en dessus, au moyen de la partie C, C′ à ressort, et de D et D′ inclinée pour faciliter le soulèvement de l'étoffe;

B, B′, tuyaux d'air débouchant en dessous;

E, E′, poches à ressort indiquant à l'extérieur la pression intérieure, comme un manomètre, et forçant, au moyen d'une corde, l'étoffe intérieure à revenir d'une manière régulière;

C, C′, ressorts à boudin, tirant en F et F′ et sollicitant aussi l'étoffe à revenir.

Supposons que le ballon, dans l'état où nous le voyons, parte avec lenteur, une légère force ascensionnelle et une petite pression intérieure suffisante pour maintenir l'enveloppe extérieure invariable de volume; cette pression ne tardera pas à s'augmenter avec la hauteur de l'appareil: alors, pour éviter que l'enveloppe extérieure ne crève, on donnera issue à l'air par les tuyaux AA′, BB′. On montera donc *sans pertes de gaz* et

sans que l'enveloppe intérieure ait eu rien à souffrir de la pression, puisqu'elle sera toujours entre deux pressions égales.

Lorsque, arrivé à une certaine hauteur, au-dessous de celle d'équilibre, Meusnier voulait faire redescendre son appareil, il remarquait que la petite force qui, par hypothèse, avait déterminé l'ascension du départ, devait être diminuée, puisque le volume déplaçant, restant constant (toujours par hypothèse), l'air déplacé était moins dense par l'effet de la hauteur où il se trouvait; il en concluait qu'un poids très-minime ajouté à celui du ballon suffirait pour neutraliser la force d'ascension et déterminer une petite descente. Alors la densité de l'air, et, par suite, la force ascensionnelle, récupérant un peu de leur intensité par la diminution de hauteur, un temps d'arrêt dans la descente et l'équilibre se seraient établis, si un nouveau poids, très-léger, n'était ajouté pour déterminer une nouvelle petite descente. Ainsi de suite jusqu'à terre.

Il descendait donc *sans pertes de gaz*. Mais comment obtenait-il ces petits poids qu'il était obligé d'ajouter successivement à chaque instant? En comprimant, à coups de soufflets, de l'air, et par suite le gaz, dans la capacité intérieure, de manière à ce que la pression de cet air se trouvât légèrement plus

forte que celle du départ. Le petit excès de pression du départ servait à maintenir le volume constant; le nouvel excès servait à donner du poids.

Il est, en effet, facile de démontrer par le calcul qu'à l'aide de ce léger excès de pression on peut obtenir un petit surcroît de poids (1).

On ne peut disconvenir que cette théorie de Meusnier ne soit ingénieuse: elle présente les avantages suivants:

1°. L'enveloppe extérieure est toujours tendue; par conséquent elle est apte à fendre l'air et à résister aux vents (4e condition).

---

(1) Un mètre cube d'air, à 0 degré au thermomètre et à 0,76 au baromètre, pèse $1^k,3$: que pèsera-t-il par exemple à 0 degré au thermomètre et à 0,80 au baromètre? On a

$$1^k,3 : 0,76 :: x : 0,80, \quad \text{d'où} \quad x = 1^k,37.$$

Ainsi il y aurait $0^k,07$ de surcroît de poids pour $0^m,04$ (différence de 0,80 à 0,76) d'excès de pression, si, comme le suppose Meusnier, l'enveloppe intérieure était capable de supporter une telle pression.

On trouverait de même que le poids de 1 mètre cube d'hydrogène augmente de $0^k,00421$ pour un excès de pression de $0^m,04$; d'où il résulte que le surcroît de poids provenant du surcroît de pression serait égal à $V.0^k,00421 + V'.0^k,07$; V et V′ étant les volumes du gaz et de l'air renfermés dans l'enveloppe extérieure. (*Voir* note IV, formules du ballon de Meusnier.)

2°. L'étoffe intérieure se trouve à l'abri de tout excès de pression intérieure, de toute atteinte et des injures de l'air.

3°. Elle n'exige qu'une faible pression intérieure, ce qui est compatible avec ce que nous avons dit sur la force des enveloppes, et rend l'opération de la compression plus prompte (1).

Mais cette théorie pêche par deux points qui, je le crains, empêcheront à jamais sa réalisation :

Le premier, c'est qu'il est difficile de surveiller et de réparer l'intérieur d'un appareil aussi sujet à se détériorer ;

Le second, c'est que la nécessité de cette double enveloppe de force entraîne dans une augmentation de poids et de dépenses difficile à accepter.

Néanmoins elle est infiniment supérieure à celle de Scot.

6°. *Ascension et descente par la dilatation et la compression du gaz du ballon, à l'aide de compresseurs agissant sur un aérostat développable; moyen proposé par l'auteur.*

Nous avons vu, par ce qui précède, qu'en

(1) S'il fallait comprimer à 1 ou 2 atmosphères, comme quelques personnes l'ont proposé, on n'en finirait pas, et l'enveloppe n'y résisterait pas. La compression de

comprimant la totalité du gaz, dans les limites de la résistance de l'enveloppe, c'est-à-dire au-dessous de $0^m,01$, on obtiendrait un petit surcroît de poids; ainsi 1 mètre cube d'hydrogène qui, à 0 degré du thermomètre et à $0^m,76$ du baromètre, pèse $0^k,08$, pèserait $0^k,081$ à 0 degré du thermomètre et à $0^m,761$ du baromètre. D'où l'augmentation de poids de 1 mètre cube d'hydrogène, pour une augmentation de pression de $0^m,001$, est de $0^k,081 - 0^k,08 = 0^k,001$.

On concevra donc que si l'on opère sur une masse considérable de gaz, par exemple sur un million de mètres cubes, l'augmentation du poids sera de $0^k,001 \times 1000000 = 1000$ kilogrammes. Sans doute ce résultat est faible pour une aussi grande masse de gaz, mais enfin il n'est pas négatif, et il montre que la compression directe du gaz à l'aide de compresseurs agissant sur un aérostat développable (*voir* 4e condition) pourra servir, sinon comme moyen unique, du moins

---

l'air est une opération fort longue. Il ne faut pas moins de trois heures à un homme pour comprimer à 5 atmosphères, dans une capacité de 100 litres, de l'air destiné à la préparation des eaux gazeuses. M. Andraud, qui a fait beaucoup d'expériences sur l'air comprimé, m'a montré combien il était long et pénible de faire monter, par suite de la compression, le mercure dans le manomètre à air libre.

comme auxiliaire pour monter et descendre. Ce moyen semble préférable à celui de Meusnier, dont nous avons signalé les défauts.

7°. *Ascension et descente à l'aide d'une corde plus ou moins traînante à terre.* (Ce moyen, expérimenté par M. Green, avait été déjà proposé par les premiers aéronautes, en 1787.)

M. Green, dans ses nombreuses ascensions, a proposé et fait un grand usage d'une corde (*guide-rope*, corde-guide) traînant à terre et suspendue à la nacelle. Son contact, plus ou moins grand, avec la terre, donne plus ou moins de légèreté; son inclinaison marque l'éloignement du sol, ce qui supplée au baromètre qui n'indique que la hauteur au-dessus du niveau de la mer.

On a objecté, dans l'emploi du guide-rope, l'inconvénient qu'il a de s'accrocher dans les arbres, maisons, etc. M. Green répond par les expériences nombreuses qu'il a faites avec succès et sans accident.

Dans une d'elles, un paysan ayant voulu saisir le guide-rope, le relâcha bien vite en jetant un cri, comme s'il avait été brûlé.

Cet agent d'ascension et de descente paraît très-satisfaisant, et fera partie (sous la forme d'une série de boulets enfilés par un câble) de ceux qu'un

aérostat à grandes dimensions devra toujours avoir à son bord.

8°. *Ascension et descente par les moyens mécaniques ou agents promoteurs, rames, roues à palette, hélices, etc.*

D'après les expériences de MM. Alban, Vallet, Testu, etc., rapportées dans la 3e condition, et celles du docteur Van-Hecke (1), il est évident, comme on doit s'y attendre, que les moyens mécaniques joueront un très-grand rôle en aérostation, non-seulement pour le mouvement horizontal, mais encore pour monter et descendre perpendiculai-

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXIV, p. 68.

Le docteur Van-Hecke part du principe inadmissible, que parmi les différents courants existant dans l'atmosphère, on peut toujours en trouver un qui passe par le but à atteindre, et que, par conséquent, l'aéronautique se réduit à monter et descendre pour trouver ce courant favorable. Il lui suffit donc de pouvoir monter et descendre : pour cela il se sert d'une hélice, placée sous l'aérostat, qui, par sa rotation et son action sur l'air, fait varier le poids du ballon et le fait monter ou descendre à volonté et sans pertes de gaz, si l'on part avec l'appareil à moitié plein.

Ce moyen, qui est applicable aux aérostats développables armés de compresseurs, n'est pas nouveau ; car depuis que MM. Testu, Vallet, etc., ont expérimenté l'efficacité des

rement, ou en suivant de brillantes courbes inclinées, telles que des spirales ou des paraboles ascendantes et descendantes.

Les agents promoteurs mis en mouvement par de puissantes machines à vapeur (*voir* 6e condition) agiront sur le grand axe de l'aérostat, comme sur les transatlantiques; et suivant qu'on inclinera le gouvernail à gauche, à droite, en haut, en bas, ce grand axe obéira, et l'énorme appareil ira à gauche, à droite, montera, descendra.

La palette du gouvernail pourra prendre toutes les positions désirées. Ainsi, pour le mouvement horizontal, elle sera placée verticalement comme le gouvernail de nos bâtiments, et comme la queue

---

rames sur l'air; qu'entre autres, M. Leinberger, de Nuremberg, a proposé *une roue semblable à une vis d'Archimède* (*voir* journal de *la Presse* du 9 août 1842), et que M. Sauvage, inventeur de l'hélice, nous a fait connaître la supériorité de son effet sur l'eau, relativement à celui des rames ou roues à palettes; il est évident que, dans l'air, on devait s'attendre à un résultat analogue, d'autant plus que les ailes de moulins à vent, qui existent depuis longtemps, ont avec l'hélice à air le même rapport que les roues à palettes avec l'hélice à eau.

Nous devons cependant rendre à M. Van-Hecke cette justice, qu'il a le premier expérimenté avec succès, publiquement et en petit, l'efficacité prévue de l'hélice à air.

des poissons en général; pour monter et descendre par un plan incliné, elle sera placée comme la queue des cétacés et des oiseaux, c'est-à-dire horizontalement; pour monter et descendre en suivant des spirales, elle aura des positions intermédiaires aux précédentes. Il sera fort utile, dans ces deux derniers cas, de faciliter l'inclinaison de l'appareil par un poids mobile dans la longueur de la gondole, comme cela se pratique dans les bâtiments (1).

Pour que la palette A (*fig.* 17) du gouvernail puisse prendre toutes ces diverses positions, il suffira qu'elle soit terminée par un manche C passant par un collet fixe B, qui sera le centre

(1) Il serait très-possible que ce poids seul suffît pour incliner l'appareil; alors le gouvernail serait bien simplifié. Il suffirait, en effet, pour monter et descendre, que ce gouvernail fût semblable à ceux des bâtiments, c'est-à-dire qu'il pût aller à gauche et à droite, sans cesser d'être vertical; car la force motrice agissant dans le sens de l'axe, et ce dernier étant incliné, par le poids en question, dans le sens désiré, l'appareil suivrait la direction inclinée de son axe, c'est-à-dire monterait ou descendrait suivant que le poids serait à l'arrière ou à l'avant. C'est ainsi que la flèche suit la direction inclinée de son axe en obéissant à la force motrice de la corde qui agit sur lui. Un gouvernail vertical, secondé par un poids mobile, imprimerait donc les directions horizontales et inclinées, et, par conséquent, satisferait à toutes les conditions du mouvement d'un aérostat dans les airs.

autour duquel elle fera toutes ses évolutions. Le manche ou la barre C sera mis en mouvement par un système d'engrenage plus compliqué que celui de nos navires, dont la palette reste toujours verticale, mais qu'il sera cependant facile de disposer quand on le voudra; au reste il est probable que cette palette sera réduite à l'oscillation verticale, par suite du poids mobile dont nous avons parlé (*voir* 7e condition).

9°. *Ascension et descente à l'aide d'un plan incliné.*

Ce moyen étant, par la difficulté de sa manœuvre, impossible à réaliser pour les grandes dimensions, nous nous abstiendrons d'en parler en renvoyant le lecteur à la critique que nous faisons, note VIII, de la machine de M. Hanson.

10°. *Ascension et descente, en profitant de certaines variations de température de l'atmosphère; moyen proposé par l'auteur.*

Disons tout d'abord que ce moyen ne peut servir qu'accidentellement.

En étudiant les formules aéronautiques (*voir* note IV), on comprendra que la variation de la température joue un certain rôle dans l'équilibre du ballon en l'air, et que cet équilibre est rompu

par la seule variation de hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. On pourra donc profiter de ces circonstances accidentelles pour monter et descendre sans pertes de gaz, comme le marin profite de la marée pour entrer ou sortir du port.

Exemple : Cas de n positif (*voir* note IV).

Si, en été, et à dix heures du matin, le ballon (sans pression intérieure) est en équilibre dans l'atmosphère, et que le soleil continue à briller en montant sur l'horizon, le ballon montera aussi ; si l'équilibre a lieu à cinq heures du soir, le ballon descendra comme le soleil. On pourra donc profiter de ces données pour calculer son départ, suivant le temps qu'on voudra séjourner en l'air.

Conclusion.

On voit, par ce qui précède, que parmi tous les moyens admissibles de monter et descendre sans pertes de gaz, aucun n'est vraiment *héroïque*, c'est-à-dire capable, par exemple, d'agir avec l'énergie de la perte de gaz, pour redescendre. Il est donc probable qu'il faudra avoir recours à l'emploi simultané de tous ces moyens, pour obtenir l'effet qu'aucun d'eux, en particulier, n'est capable de donner. Ainsi, probablement un ballon bien installé pour monter et descendre sans pertes de gaz devra être pourvu :

1°. De l'adjonction d'un ballon à feu, chauffé à l'esprit-de-vin dans les petites dimensions, et par la cheminée de la machine à vapeur dans les grandes dimensions ;

2°. De deux compresseurs (*voir* 4e condition) qui auront pour fonctions de maintenir la rigidité de l'enveloppe, et de faire monter et descendre sans pertes de gaz;

3°. D'une corde traînante (guide-rope);

4°. De moyens mécaniques, tels que rames, roues à palettes, hélices, etc.;

5°. De formules aéronautiques qui permettront de calculer et utiliser certaines combinaisons ou variations de température de l'atmosphère.

Telle est la conclusion qu'on peut tirer, pour le moment, de l'examen des divers moyens de monter et descendre sans pertes de gaz, que nous venons de passer en revue.

Disons, en terminant, que les pertes de gaz et de lest seront réservées pour les cas de sinistres ou de sauvetage.

SIXIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT ÊTRE POURVU D'UNE FORCE MOTRICE SUFFISANTE POUR QU'IL PUISSE NAVIGUER AU MOYEN D'AGENTS DE LOCOMOTION.

DE L'EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR.

Ballons de 40 et 140 chevaux.

On a dit souvent que l'énorme surface présentée par un ballon pour fendre l'air donnerait une résistance qui demanderait (pour avoir une vitesse passable de 16 kilomètres à l'heure par exemple) une force telle, que le poids des machines produisant cette force ne pourrait être enlevé.

Nous répondrons à cela de deux manières : 1° par la théorie; 2° par la pratique analogue des bateaux à vapeur.

Par la théorie : Newton nous apprend et l'on admet que, pour des sphères, la *résistance des fluides est proportionnelle,* 1° *au carré du diamètre;* 2° *au carré de la vitesse.* Or, si la résistance est proportionnelle au carré du diamètre, comme la force ascensionnelle est proportionnelle

au cube, il en résulte qu'en faisant croître ce diamètre, il arrivera un moment où

le carré du diamètre ou la résistance	s'annulera, pour ainsi dire, devant	le cube du diamètre ou la force ascensionnelle

et cette force ascensionnelle pourra prendre des valeurs telles, qu'elle pourra soulever quelque poids que ce soit, par conséquent celui des machines capables de vaincre la résistance provenant du carré du diamètre. Maintenant, si l'on suppose une vitesse constante, de 16 kilomètres à l'heure par exemple, on conçoit qu'en faisant encore croître suffisamment le diamètre, on aura une force ascensionnelle qui croîtra relativement à la résistance constante provenant du carré de la vitesse constante, et permettra d'enlever une machine suffisamment forte pour vaincre cette dernière résistance. On aura donc alors surmonté les résistances provenant du carré du diamètre et du carré de la vitesse.

Ce raisonnement, qui est applicable à des sphères, peut s'appliquer plus avantageusement encore à la forme cylindrique, qui peut être ici considérée comme renfermant intérieurement plusieurs sphères de même diamètre, dont la première ouvre le chemin aux autres.

Par la pratique analogue des bâtiments à vapeur: Newton nous apprend encore et l'on admet aussi que *la résistance des fluides est proportionnelle à leurs densités* (1). Or, si nous considérons deux fluides, l'eau et l'air, dont l'un (l'eau douce) est 781 fois (2) plus lourd que l'autre, la résistance, dans le premier, sera 781 fois plus grande que dans le deuxième; ou, ce qui revient au même, la force nécessaire pour faire mouvoir dans l'eau une surface donnée sera la même que celle qu'il faudrait pour faire mouvoir dans l'air une sur-

---

(1) *Voir* dans tous les ouvrages de physique et de mécanique, et particulièrement dans la *Mécanique industrielle* de Poncelet (édition de 1841, p. 542), la démonstration de ces lois de Newton. M. Poncelet les exprime ainsi :

« 1°. La résistance que l'inertie des fluides en repos oppose au mouvement direct et uniforme des corps de figures » semblables, dirigés de la même manière, croît comme la » densité de ces fluides, comme le carré de la vitesse de ces » corps et comme l'aire de la projection de ces mêmes corps » sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement;

» 2°. La résistance des fluides est proportionnelle au poids » d'un prisme de ces fluides, qui a pour base la projection transversale du corps sur un plan perpendiculaire à » la direction du mouvement, et pour hauteur, la hauteur » due à la vitesse. »

(2) THENARD, t. I, p. 528. L'air étant à + 4 degrés et 0,76.

face 781 fois plus grande, la vitesse étant égale de part et d'autre. Voyons donc quelle est, dans un bateau à vapeur, la surface qui fend le liquide (c'est-à-dire la portion de la plus grande section qui est au-dessous de la ligne d'eau). En multipliant cette surface par 781, nous obtiendrons la section d'un ballon qui, avec la même force que celle du bateau, donnera la même vitesse. Il s'agira de savoir alors si le poids de la machine, produisant la force, peut être enlevé par le ballon.

Premier exemple (1). — *Les Dorades*, qui font le service du Pecq à Rouen, à raison de 20 kilomètres à l'heure à la descente, et de 16 kilomètres à la remonte, ont, au-dessous de la ligne d'eau (*fig.* 18), et près de l'arbre de la machine, une section de 4 mètres sur 0,66, qui donnent $2^{mq},64$.

La machine étant de 40 chevaux, pèse (à 1000 kilogrammes par cheval).....	40000^k	41600
La provision de charbon (à 4 kilogrammes par heure et par cheval), pèse pour 1 heure, 160 kilogrammes; pour 10 heures.....	1600^k	

On aura $2^m,64 \times 781 = 2061^{mq},84$ pour la section du ballon cylindrique dont le rayon s'obtien-

(1) Je dois ces renseignements à l'obligeance de M. Cavé, mécanicien, propriétaire et constructeur de ces bateaux.

dra par l'équation suivante :

$$\pi R^2 = 2061^{mq},84;$$

d'où

$$R^2 = \frac{2061^{mq},84}{3,141} = 656^{mq}, \text{ et } R = 26^m \text{ environ.}$$

Supposons le ballon composé d'un cylindre (*fig.* 2) ayant une longueur égale à deux fois son diamètre et terminé par deux cônes ayant chacun ce diamètre pour hauteur :

La force ascensionnelle sera		$P = 312447^k,2$ (1)
Elle soulèvera non-seulement la machine de 40 chevaux.	40000^k	
Et la provision de charbon pour 10 heures de travail.	1600^k	
Mais encore un poids de...	$270847^k,2$	
Total.....	$312447^k,2$	

(1) Pour la simplification du calcul, nous supposons la densité de l'air constante, sa température à 0 degré, et la hauteur barométrique à 0,76. Quand on voudra avoir la formule en fonction de la température et de la pression barométrique, il suffira de remplacer d et d' par les valeurs de p et p' de la note IV.

Soient

A le poids de l'air déplacé, dont la densité par mètre cube est $d = 1^k,3$;

A' le poids de l'hydrogène remplaçant, dont la densité par mètre cube est $d' = 0^k,1$;

et le ballon marchera, comme les *Dorades*, à raison de 16 à 20 kilomètres à l'heure, avec un courant d'air égal à celui de l'eau, c'est-à-dire presque nul. Par un temps calme, la vitesse sera plus grande. Si la longueur de la partie cylindrique de l'aérostat pouvait être, sans inconvénient (*voir* p. 48), égale à trois fois, au lieu de

---

A″ le poids de l'enveloppe, dont le poids par mètre carré est $p = 1^k$;

P la force ascensionnelle ou le poids qui pourra être soulevé;

on aura

$$P = A - A' - A''.$$

Or, pour un cylindre-cône comme celui de la *fig.* 2 :

$$A = [\pi R^2(4R) + 2\tfrac{1}{3}\pi R^2(2R)]d = (12R^3 + 4R^3)d = 16R^3 d,$$
$$A' = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 16R^3 d',$$
$$A'' = [2\pi R(4R) + 2.2\pi R\tfrac{1}{2}L(^*)]p = (24R^2 + 6RL)p$$
$$= (24R^2 + 13{,}2R^2)p = 37{,}2.R^2 p;$$

d'où

$$P = 16R^3(d - d') - 37{,}2R^2 p.$$

Remplaçant d, d', p par leurs valeurs,

$$P = 16R^3(1^k{,}2) - 37{,}2R^2 = 19{,}2R^3 - 37{,}2.R^2;$$

soit

$$R = 26^m \quad P = 337459{,}2 - 25012 = 312447^k{,}2.$$

(*) L est l'arête du cône, et l'on a, dans le cas présent,

$$L^2 = R^2 + 4R^2 = 5R^2 \quad \text{et} \quad L = R\sqrt{5} = 2{,}2R.$$

deux fois son diamètre, la force ascensionnelle serait augmentée d'un tiers, sans que la résistance devînt plus grande. Au lieu de 27 à 28000 kilogrammes (déduction faite du poids de la machine, du charbon, etc.) de force disponible, on aurait de 36 à 37 000 kilogrammes. En employant des machines plus puissantes, on pourrait avoir une vitesse plus grande, de 32 à 40 kilomètres à l'heure par exemple.

Deuxième exemple : Dimensions d'un ballon portant une machine de 140 chevaux. — Un des bateaux à vapeur du Rhin, faisant 20 kilomètres à l'heure à la descente et 16 kilomètres à la remonte, a pour section, au-dessous de la ligne d'eau, près de l'arbre de la machine, 5 mètres sur 0,80, ce qui donne 4 mètres carrés.

La machine de 140 chevaux pèse (à 1000 kilogrammes par cheval).....	140000^k	145600
La provision de charbon pèse (à 4 kilogrammes par heure et par cheval), pour 1 heure, 560 kilogrammes; pour 10 heures.....	5600^k	

On aura $4 \times 781 = 3124$ mètres carrés pour la section du ballon cylindrique dont le rayon s'obtiendra par l'équation suivante :

$$\pi R^2 = 3124^{mq};$$

d'où

$$R^2 = \frac{3124}{3,141} = 995^{mq} \quad \text{et} \quad R = 31^m.$$

Supposons, comme plus haut, le ballon composé d'un cylindre ayant une longueur égale à deux fois son diamètre et terminé par deux cônes, ayant chacun ce diamètre pour hauteur :

La force ascensionnelle sera.....		$P = 536430^k,2$ (1)
Elle soulèvera non-seulement la machine de 140 chevaux	140000^k	
Et sa provision de charbon pour 10 heures de travail.	$5600^{k\,a}$	
Mais encore un poids de...	$390830^k,2$	
Total égal.....	$536430^k,2$	

En résumé, dans des courants d'air d'une vitesse égale à celle des courants d'eau, c'est-à-dire presque nuls (2) et avec une provision de charbon pour dix heures de travail :

---

(1) Soit (dans la formule du bas de la page 119)

$$R = 31^m \quad P = 571987,2 - 35557 = 536430^k,2.$$

(2) Nous verrons plus loin la modification qui résultera de l'hypothèse d'un courant d'air d'une vitesse de 160 kilomètres à l'heure, qui est la vitesse des plus grands vents.

	VITESSE du ballon par heure.	DIMENSION du rayon du ballon.	FORCE de la machine.	TONNAGE du ballon.
Un ballon cylindro-conique en cuivre, de.	.....	R = 26 m		
Pourra faire.....	16 à 20 kilom			
A l'aide d'une machine de.....	.....	.....	40 chevaux.	
En portant en outre.	.....	.....	.....	270847 k = 270 tonn.
Et un ballon cylindro-conique en cuivre, de.....	.....	R = 31 m		
Pourra faire.....	16 à 20 kilom			
A l'aide d'une machine de.....	.....	.....	140 chevaux.	
En portant en outre.	.....	.....	.....	390830 k = 390 tonn.

Vienne maintenant une source de force moins pesante que la machine à vapeur, telle que l'air comprimé, etc., et la science aérostatique sera la première à en profiter.

Il semble qu'on pourrait conclure de ce qui précède, que nier la possibilité de la navigation aérienne, c'est nier la loi de Newton (1), c'est nier la navigation à vapeur sur l'eau, c'est nier deux faits également constatés, ce qui est dou-

(1) La résistance des fluides est proportionnelle à leur densité.

blement absurde. Donc la navigation aérienne serait une possibilité démontrée.

En attendant que la pratique ait sanctionné la conséquence de la loi de Newton précitée, nous allons ici la formuler *intuitivement* dans toute sa généralité, laissant à d'autres le soin de la vérifier par le calcul, et de la formuler en équation générale :

Du moment que, par le transatlantique (1) *à vapeur, sans voiles, il est démontré que la navigation est possible sur mer, par tous les vents, avec une force et une vitesse connues, elle doit être possible, avec la même force et une vitesse donnée, pour un autre appareil flottant, sur un fluide quelconque* (*liquide ou gazeux*), *d'une densité quelconque, pourvu que les sections semblables plongées dans les fluides des deux appareils soient en raison inverse des produits des densités par les vitesses, sans que le second appareil cesse d'être flottant* (2).

---

(1) *Voir* (3e condition) pourquoi les transatlantiques, plutôt que les bateaux à vapeur ordinaires, doivent servir de comparaison. (*Voir* pour le même objet le chapitre suivant.)

(2) Il s'agit ici de vitesses dans le *calme*, car les courants contraires et favorables sont censés se compenser. *Voir* pour l'application de ce principe, la fin de la note des aérostats de 450 chevaux, page 128, où l'on établit que la section

Ainsi, de même qu'on admettrait qu'un bâtiment à vapeur naviguerait sur un liquide *plus dense* (1) que l'eau, avec une force et une vitesse *la même*, et une section plongée *plus petite* que sur l'eau, de même on admettra qu'un bâtiment à vapeur naviguerait sur un fluide *moins dense* (2) que l'eau, avec une force et une vitesse *la même*, et une section plongée *plus grande* que sur l'eau.

Revenons à notre sujet, comparons un aérostat à un bâtiment à vapeur transatlantique (le *Magellan* de 450 chevaux) et faisons des calculs analogues à ceux que nous avons déjà établis dans la comparaison avec les bâtiments à vapeur d'eau douce. Nous verrons encore ici que le calcul n'indique aucune impossibilité de l'emploi des plus grandes machines à vapeur, et que, par conséquent, la 6e condition (de la force motrice applicable à la navigation aérienne), qui nous occupe,

---

du transatlantique dans l'eau est à celle du ballon dans l'air comme

$$1 : 321,6 :: 40 : 12864 :: 1.40 : 804.16$$

ou comme le produit de la densité multipliée par la vitesse de l'air est au produit de la densité multipliée par la vitesse de l'eau.

(1) Comme une mer de mercure ou d'acide sulfurique.

(2) Comme une mer d'huile, d'alcool, d'acide carbonique, d'air, etc.

n'est point celle qui opposera un obstacle infranchissable au problème de l'aéronautique.

Aérostat de 450 chevaux.

Les bateaux à vapeur des fleuves n'ayant à lutter que contre des courants d'eau d'une force déterminée, et n'étant pas exposés, comme ceux de la mer, à l'effet des vents sur un fluide illimité, ne peuvent être, aussi bien que ces derniers, comparés à un *aérostat colossal naviguant en plein air* par tous les vents. Cherchons donc à imiter un bâtiment transatlantique de 450 chevaux (1), dans la construction d'un aérostat colossal cylindro-conique d'une force égale. En nous servant d'un raisonnement analogue au précédent, avec cette différence que l'eau de mer est 804 fois (au lieu de 781 fois pour l'eau douce) plus pesante que l'air (2), et qu'au lieu d'avoir à lutter contre un courant d'air d'une force égale à celle de l'eau, comme nous l'avons supposé précédemment, nous aurons ici, par hypothèse,

---

(1) J'ai pris un bâtiment de 450 chevaux, parce que telle est la force du *Magellan*, qui m'a servi de point de comparaison. On raisonnerait de même sur tout autre nombre de chevaux.

(2) La densité de l'eau de mer étant 1,03 lorsque celle de

A résister aux vents forts d'une vitesse de.....	40 kilomètres à l'heure.
Ou, ce qui revient au même, à marcher dans le calme avec une vitesse de.....	*id.*
(au lieu de 16 à 20 kilomètres à l'heure, comme précédemment),	
Et, de plus, nous supposons que la vitesse des plus grandes vagues n'est que de.....	16 kilom. à l'heure (1),
Ou, ce qui revient au même, que le transatlantique marche dans le calme avec une vitesse de....	*id.* (2);

---

l'eau douce est 1, on a

$$1{,}03 : 1 :: x : 781; \quad \text{d'où} \quad x = 781 . 1{,}03 = 804{,}43.$$

Ainsi l'eau douce est 781 fois plus lourde, et l'eau de mer 804 fois plus lourde que l'air à + 4 degrés du thermomètre et à 0,76 du baromètre. (THENARD, t. I, p. 528.)

(1) On admet que les vagues n'ont pas de vitesse, et ne font qu'osciller ou onduler sans que le liquide change de place; mais la résistance provenant de cette ondulation est assimilée, par quelques auteurs, à la résistance qui proviendrait d'une vitesse de courant de 16 kilomètres à l'heure.

M. Monc-Masson, dans son *Aeronautica or Sketches, etc.*, après avoir fait la relation fort intéressante du plus beau voyage aérostatique qui ait jamais été réalisé, celui de MM. Robert Holland, Green et lui, où, partis de Londres à $1^h 30^m$,

(2) *Voir* cette note page 129.

ce qui fait que l'aérostat ayant à soutenir une vitesse plus grande (plus que double), le rapport de sa section avec celle du transatlantique devra être plus petit que dans les exemples précédents, et cette section sera, au lieu de 781 fois, 321,6 fois (*voir* à la fin de la note (1) de la page 126)

---

le 7 novembre 1836, ils arrivèrent à Coblentz le lendemain matin à $7^h 30^m$ du matin, ayant parcouru en dix-huit heures 500 milles (201 lieues) ou 44 kilomètres par heure, termine son ouvrage par une dissertation sur la direction des ballons qu'il regarde comme impossible, en s'appuyant sur des arguments qui accusent l'oubli du principe précité de son illustre compatriote Newton. Ainsi, p. 298, il dit: *La vitesse des plus grandes vagues est de* 10 *milles* (16 *kilom.*) *à l'heure, et celle des plus grands vents, de* 100 *milles* (160 *kilom.*); *comment espérer lutter contre une pareille force?* Mais parler de la vitesse de deux fluides (l'eau et l'air) sans s'occuper de leurs densités, c'est ne rien dire relativement à la force nécessaire pour leur résister. En effet, considérons 1 mètre cube d'eau de mer animé d'une vitesse de 16 kilomètres à l'heure, et 1 mètre cube d'air animé d'une vitesse de 160 kilomètres à l'heure, et voyons quelle sera la force nécessaire pour résister à chacun de ces mètres cubes. Soit 1 le poids du mètre cube d'air; celui du mètre cube d'eau de mer sera 804, et la force nécessaire à la résistance sera égale et contraire à la quantité de mouvement de chacun, c'est-à-dire pour l'un, $1 \times 160 = 160$, et pour l'autre, $804 \times 16 = 12864$. Ainsi la force nécessaire pour résister à l'air sera 160, et pour résister à l'eau 12864, ou :: 1 : 80. Donc il sera 80 fois plus facile de résister, à volume égal, aux

seulement plus grande que celle des transatlantiques pour pouvoir, avec une force de 450 che-

---

plus grands vents qu'aux plus grandes vagues. Donc, dans l'air, une surface 80 fois plus grande qu'une autre dans la mer résistera, avec une force de machine égale, aux plus grands vents, comme l'autre aux plus grandes vagues. Conclusion bien opposée à celle de M. Monc-Masson.

Mais si nous remarquons : 1° que l'aérostat a toujours la ressource, dans le cas de vents très-forts, de pouvoir changer de hauteur pour naviguer dans des couches d'air calmes ou favorables (*); 2° que la vitesse de 160 kilomètres à l'heure précitée est celle d'un ouragan qui renverse les édifices, et qu'il suffit qu'il puisse naviguer contre un vent fort pour se donner le temps d'arriver dans des couches calmes ; nous prendrons la vitesse d'un vent fort (40 kilomètres à l'heure) comme type de la vitesse des plus grands vents que devra remonter l'aérostat pour gagner des couches d'air calmes ou favorables, et nous trouverons, comme ci-dessus, que la quantité de mouvement du mètre cube sera : pour l'air, $1 \times 40 = 40$; et pour l'eau, $804 \times 16 = 12864$, ou $:: 1 : 321,6$. Donc, dans un ballon, une surface de section 321,6 fois plus grande que celle de la section du transatlantique ne demandera pas plus de force, pour se mouvoir contre un vent de 40 kilomètres à l'heure, qu'il n'en faut au transatlantique pour surmonter les vagues de 16 kilomètres à l'heure.

(*) C'est ce que M. Monc-Masson a complétement perdu de vue en disant, p. 298, « qu'un ballon serait emporté aux antipodes par les grands vents, auxquels il ne pourrait résister. » Oui, s'il ne changeait pas de hauteur aussitôt que le vent devient trop fort ou défavorable.

vaux, résister aux vents forts de 40 kilomètres à l'heure.

Troisième exemple. — Le *Magellan* de 450 chevaux présente une section, au-dessous de la ligne d'eau, et près du maître-couple, de 12 mètres sur $4^{m},85$, qui donnent $58^{mq},2$.

La machine pèse..... (un peu plus que 1000 kilogrammes par cheval).	507000^{k}	525000^{k}
La provision de charbon pèse (à 4 kilogr. par heure et par cheval), pour 10 heures	18000^{k}	

D'après ce que nous avons dit précédemment, on aura $58^{mq},2 \times 321,6 = 18717$ mètres carrés pour la section du ballon cylindro-conique dont le rayon s'obtiendra par l'équation suivante :

$$\pi R^2 = 18717^{mq};$$

d'où

$$R^2 = \frac{18717}{3,14} = 5960^{mq} \text{ et } R = 70^{m} \text{ environ.}$$

Introduisant cette valeur de R dans la formule du bas de la page 119

$$P = 19,2\,R^3 - 37,2\,R^2$$

de l'aérostat cylindro-conique, et supposant

(2) Ce qui représente à peu près la vitesse des transatlantiques qui font le trajet de Liverpool à New-York, car ils parcourent les 8000 kilomètres qui séparent ces deux villes

une épaisseur de cuivre (1) 10 fois plus grande, c'est-à-dire de $0^m,001$, par conséquent aussi, le poids 10 fois plus grand et de 10 kilogrammes par mètre carré, on trouvera pour la force ascensionnelle (2),

$$P = 4762800^k,$$

qui portera, savoir :

La machine de 450 chevaux	507000^k	525000^k
La provision de charbon pour 10 heures.....	18000^k	
Le poids des agrès, filet, barque, que nous estimons aux deux cinquièmes de 5 000 000 de kilogr., qui est celui d'un vaisseau de 120 canons avec son chargement complet.		2000000^k
Le poids disponible pour le chargement ou tonnage, $2237^{Tx},800$..		$= 2237800^k$
Total égal.....		4762800^k

Ajoutons ici, comme renseignement, que le tonnage du *Magellan*, prêt à prendre la mer, est de 2 820 tonnes. Son prix est de 2 à 3 millions,

---

en 20 jours = 480 heures; d'où $\frac{8000}{480} = 16$ kilomètres environ donne la vitesse moyenne par heure, l'effet des vents favorables et défavorables étant supposé se compenser.

(1) Je raisonne sur le cuivre, comme je le ferais sur toute autre matière, en attendant qu'on ait trouvé une matière d'enveloppe aérostatique plus convenable.

(2) $P = 6,585,600^k - 1822800^k = 4762800^k$.

et le rapport du grand axe au petit axe, à la flottaison, est de 69 mètres sur $11^{m},80$ (1).

Ainsi, *un aérostat colossal cylindro-conique de* 140^{m} *de diamètre et de* 560^{m} *de longueur* (2) *avec une force de* 450 *chevaux, fera* 40^{kil} *à l'heure par un temps calme, ou pourra lutter contre un vent fort de* 40^{kil} *à l'heure pour gagner des couches supérieures plus calmes. Par des vents favorables, il aura leur vitesse, c'est-à-dire* 40, 80, 120 *et* 160^{kil} *à l'heure.*

Ce résultat du calcul est de nature à rassurer beaucoup pour l'emploi de la force motrice nécessaire à la navigation aérienne. Remarquons, en passant, que les cendres du charbon consommé présenteront une ressource pour le lest.

Des agents promoteurs.

Il est à observer que les roues à palettes (ou l'hélice qui conviendra mieux pour la navigation aérienne), agissant dans un fluide 804 fois moins dense que l'eau, devront être établies de manière à avoir 804 fois plus de prise sur l'air que celles

(1) Le *Washington*, ce colosse des steamers, lancé en janvier 1847, présente (dit le *Hérald*, juin 1847), $11^{m},7$ sur 69^{m}; 9^{m} de profondeur; 2000^{Tx}; 27353^{m} à l'heure; $5^{m},40$ de tirant d'eau, et $1^{m},80$ de machines.

(2) C'est l'espace compris entre le pont de la Concorde et les bords de la Seine jusqu'à la hauteur du palais d'Orsay.

du transatlantique n'en ont sur l'eau; ce qu'on obtiendra en augmentant simultanément la surface et la vitesse de ces palettes.

Pour accroître la vitesse, il suffit d'augmenter le rayon des roues sans changer la vitesse avec laquelle tourne l'arbre de la machine (1); cette vitesse des palettes sera proportionnelle à la circonférence et, par suite, aux rayons. Ainsi, le rayon des roues du *Magellan* étant de 4 mètres, on pourra donner 12 mètres (2) à celui des roues

(1) A propos de l'axe des roues à palettes, l'auteur de l'*Aeronautica or Sketches*, etc., signale, comme un obstacle, qu'il devra passer à travers le ballon. Non, il passera par le centre de gravité de l'appareil, qui se trouvera probablement en dehors et au-dessous, en vertu du poids de la nacelle et de son contenu; et cette position du centre de gravité, au-dessous du ballon, sera très-favorable à l'agencement de l'axe et au mouvement uniforme du système, puisqu'il sera mis en mouvement par son centre de gravité.

(2) Le même auteur voit une grande difficulté à trouver des matériaux suffisamment forts et légers pour ces constructions aéronautiques : comme si les ailes de moulins à vent n'étaient pas connues depuis longtemps.

« La nature, dit-il, semble avoir reconnu l'impossibilité » de trouver des matériaux suffisamment forts et légers » pour enlever des oiseaux d'un certain poids, en refusant » à l'autruche, au casoar, etc., la faculté de voler. »

Borelli, dans le XVIIe siècle, avait dit de même :

« La nature ne tente point ce qui est impossible; il lui

de l'aérostat, ce qui triplera la vitesse des palettes, et nonuplera leur résistance dans l'air, puisque la résistance est proportionnelle au carré de la vitesse.

» était facile de mettre les poissons en équilibre avec l'eau » qui, par elle-même, est très-pesante, mais il était im- » possible que les oiseaux, composés d'os, de chair, de » fluides, etc., pussent être mis en équilibre avec l'air. » (*De Motu Animalium;* de Volatu.)

Du temps de Borelli, on ne connaissait pas les différences de densités des gaz, ni l'hydrogène dont la découverte ne remonte qu'à 1777.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'il n'y a pas d'analogie entre les oiseaux et les aérostats, car ceux-ci se portent eux-mêmes à l'aide de l'hydrogène qu'ils renferment, tandis que ceux-là ont besoin de leurs ailes pour se soutenir et se mouvoir. D'ailleurs il est des cas où il faut cesser d'imiter la nature.

Ainsi, dans les dimensions des plus gros cétacés, la nature ne s'est pas élevée au delà de 30 mètres de longueur; était-ce à dire pour cela que l'homme ne dût pas dépasser ces dimensions dans les vaisseaux? Non, car le *Magellan* a 69 mètres, et bientôt les transatlantiques de 1 000 chevaux dépasseront 100 mètres de longueur.

De même, dans les premiers âges du monde, la nature n'avait-elle pas refusé à l'homme la propriété d'aller sur l'eau? Eh bien, il arriva qu'un jour il se mit à cheval sur un tronc d'arbre, puis, pour ne pas être mouillé, il creusa cet arbre; plus tard, il fit une pirogue, de grandes barques, enfin de

On augmentera les surfaces de manière qu'elles soient à celles du transatlantique :: 89,34 : 1; et comme elles auront une vitesse triple ou une résistance nonuple dans l'air, $89,34 \times 9 = 804$

---

grands bâtiments, et dans ces derniers temps des bâtiments à vapeur et des transatlantiques. Après quarante siècles de progrès successifs!

Il en est de même pour la navigation aérienne.

Jusqu'en 1783, époque de la découverte de Montgolfier, l'homme était dénué de la faculté de s'élever dans l'atmosphère; maintenant cette faculté, fruit de son intelligence, ne lui est elle pas une conquête acquise? Sans doute, tout est à faire encore; mais le principe étant trouvé, le reste n'est plus qu'une question de temps.

Répétons-le donc, il n'y a rien à conclure, contre la navigation aérienne, de la limite que s'est imposée la nature dans le vol des gros oiseaux; car l'hydrogène, sur lequel elle s'appuie, fait disparaître toute analogie avec les volatiles: et lors même que cette analogie existerait, ce ne serait pas un motif pour que l'homme dût, en s'éloignant de la nature, désespérer de résoudre un jour le grand problème de l'aéronautique.

Sans prétendre que tous les agencements aérostatiques soient faciles, nous tenons à constater que le calcul pas plus que la nature n'indiquent d'impossibilité : la marine a eu bien d'autres obstacles à surmonter pour sortir de l'enfance; aussi, loin de renoncer à l'espoir de conquérir un jour la navigation aérienne, doit-on plutôt se rappeler le vieil adage: *Labor improbus omnia vincit.*

représentera la supériorité d'action des palettes qu'il fallait obtenir.

On raisonnerait de même s'il s'agissait d'une hélice au lieu de roues à palettes.

Au reste, il serait superflu d'entrer dans de plus amples détails sur toutes ces difficultés, qui demanderont de grands efforts d'études et de génie; les expériences seules sanctionneront ou modifieront ce que nous indique le calcul.

Réfutations d'objections contre l'emploi de la vapeur comme moteur.

1°. On a parlé des dangers du feu, notamment par les étincelles qui sortent de la cheminée de la machine, et qui, rencontrant une fuite de gaz, pourraient déterminer une détonation. Il est facile cependant de placer l'orifice de cette cheminée dans un endroit convenable, à l'arrière par exemple, et de l'envelopper d'une toile métallique à l'instar des lampes de mineur de Davy, dont l'effet serait d'arrêter dans la chambre en toile métallique l'étincelle qui viendrait à sortir, et d'empêcher ainsi toute détonation dans le cas même où l'orifice se trouverait entouré de gaz.

2°. La perte de poids occasionnée par la combustion du charbon a paru aussi une difficulté insurmontable. Il serait cependant possible de

condenser (à l'aide d'un appareil fumivore renfermant un lait de chaux) les gaz provenant de la combustion, de manière à ce que cette perte de poids n'eût pas lieu.

Dans l'aérostation à grandes dimensions avec pression intérieure très-légère, cette perte de poids devient, au contraire, une ressource pour atténuer l'augmentation de pesanteur provenant de l'augmentation de température après le départ du matin. Raisonnons sur les chiffres du projet de ballon de 450 chevaux précité, dont le rayon est $R = 70$ mètres.

Il emporte le matin, pour 10 heures de travail, 18000 kilogrammes de charbon dont il est allégé le soir; comment redescendra-t-il, lorsqu'il sera arrivé à sa limite de hauteur où nous supposerons, par exemple, que le baromètre marque $0^m,60$, et le thermomètre 0 degré? Par la seule augmentation de 1 degré dans la température de l'air ambiant qui diminue le poids de l'air déplacé de $43355^k,2$ (1) et augmente d'autant, par con-

(1) Le poids de l'air déplacé par le cylindre de $R = 70^m$ est $16R^3d$ (*) $= 5488000.d$.

Or, à 0 degré du thermomètre et à $0^m,76$ du baromètre, d (**) $= 1^k,3$. Donc, à 0 degré du thermomètre et à $0^m,60$

(*) *Voir*, à la note de la page 118, la valeur de A.

(**) *Voir* note IV, des formules aéronautiques.

séquent, celui de l'appareil. Il descendra donc, sollicité par $43355^k,2 - 18000^k = 25355^k,2$; de

---

du baromètre, d (*) $= 1^k,027$; donc le poids ci-dessus sera $5488000 . 1^k,027$.

De même, à 1 degré du thermomètre d'augmentation dans la température de l'air et à $0^m,60$ du baromètre, d (**) $= 1^k,0191$. Et le poids ci-dessus sera $5488000 . 1^k,0191$.

D'où la différence ou perte de poids de l'air déplacé est, pour 1 degré d'augmentation dans la température atmosphérique (la température primitive étant 0 degré, et, dans les deux cas, le baromètre étant à $0^m,60$),

$$5488000(1^k,027 - 1^k,0191) = 5488000.0,0079 = 43355^k,2.$$

A n^o du thermomètre et toujours à $0^m,60$ du baromètre, la perte de poids serait

$$5488000\left(1^k,027 - \frac{0,60}{0,76} \cdot \frac{1^k,3}{1 + 0,00375\,n}\right).$$

Voir, à ce sujet, la note IV, des formules aéronautiques.

(*) $$d = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^k,3}{1 + 0,00375\,n};$$

soit $n = 0$, $h = 0^m,60$, on a

$$d = \frac{0,60}{0,76} \cdot 1^k,3 = 0,79 . 1^k,3 = 1^k,027.$$

(**) $$d = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^k,3}{1 + 0,00376\,n};$$

soit $n = 1^o$, $h = 0^m,60$, on a

$$d = 0,79 . \frac{1^k,3}{1 + 0,00375} = 0,79 . 1^k,29 = 1^k,0191.$$

sorte qu'au lieu de craindre l'impossibilité de redescendre, c'est le contraire qu'il faudrait redouter (1), si l'opposition de ces deux difficultés ne permettait de les combiner de manière à en tirer parti, en faisant usage des formules aéronautiques et en calculant l'heure du départ, ainsi que les hauteurs où l'atmosphère a une température constante (*voir* note IV).

En résumé, le calcul démontre la possibilité de l'emploi de la force motrice de la vapeur et des engins en usage dans les bâtiments à vapeur; par conséquent, ce n'est pas de ce côté que viendra l'impossibilité pour l'aéronautique de réaliser ses vastes destinées.

---

(1) En général, il ne faut jamais craindre de ne pouvoir redescendre. Les aérostats ne descendent que trop, malheureusement, par leur perte de gaz, et, jusqu'à présent, aucun n'a disparu dans les vastes solitudes de l'atmosphère; beaucoup sont descendus plus tôt et plus vite qu'on ne voulait.

SEPTIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DOIT AVOIR UN GOUVERNAIL.

Du gouvernail dans les aérostats (1).

Nous avons vu (page 109) qu'un aérostat devait, pour se diriger en tous sens, à l'aide de son gou-

(1) Un auteur anglais, déjà cité, a osé dire que, dans un aérostat armé d'un gouvernail, *louvoyer ou virer de bord est inadmissible, car il faut pour cela deux éléments (l'eau et le vent) comme à la mer, et l'aérostat n'a qu'un élément (l'air), puisque le vent est sans effet sur lui.* Mais sur quel principe repose donc la marche du bâtiment à vapeur *sans voiles?* Il ne se sert pas des vents, et cependant il peut louvoyer et virer de bord. Rappelons en peu de mots le principe élémentaire de la navigation : c'est que pour naviguer, louvoyer, etc., en un mot pour que l'action du gouvernail se fasse sentir, il faut, en effet, deux éléments : l'eau et la force motrice. Mais il importe peu, pour que le gouvernail ait son effet, que le second élément (la force motrice) vienne de l'extérieur du bâtiment, comme le vent, ou de l'intérieur, comme la vapeur, pourvu qu'il agisse sur le bâtiment et le mette en mouvement; car alors, mais seulement alors, le gouvernail aura toute son action. Rien n'est plus simple à vérifier : prenez une barque avec deux rameurs, et tenez vous-même le manche

vernail, pouvoir incliner son grand axe à gauche,

---

du gouvernail. Si les rameurs ne fonctionnent pas et que vous vous abandonniez au courant de l'eau, vous aurez beau tourner le gouvernail dans tous les sens, la barque ne répondra pas à son action; mais aussitôt que les rameurs agiront, que la barque leur obéira et avancera, le gouvernail aura tout son effet, et la résultante de la force motrice et de l'effet du gouvernail se manifestera, en imprimant une direction voulue à la barque. Donc l'*effet du gouvernail ne peut avoir lieu que lorsque la force motrice est en action* (*); or, ce principe est parfaitement applicable à un ballon armé d'un gouvernail et porteur d'une force motrice (vapeur ou autre). Donc, en faisant agir simultanément son gouvernail et sa force motrice, l'aérostat pourra se diriger, louvoyer, virer de bord, etc., ce qui renverse l'objection de l'auteur précité.

(*) Le long gouvernail des radeaux ou des bâtiments des fleuves a, malgré *l'absence des rames ou de la force motrice,* un certain effet sur la direction de ces longues barques; mais cela tient à ce qu'il repose sur un tout autre principe que le gouvernail ordinaire: celui-ci est une palette qui présente, d'un côté ou de l'autre, une certaine résistance au mouvement, et fait céder ce côté à cette résistance; et celui-là est un long bras de levier qui va chercher, à une grande distance, un point d'appui pour opérer un résultat que le bâtiment *sans rames ou sans force motrice* ne pourrait obtenir par l'autre gouvernail, puisqu'il s'abandonne au cours du fleuve et n'a pas de mouvement propre. Autant le premier est léger, autant le second est impuissant et embarrassant; aussi n'hésite-t-on pas à employer celui-là quand le bateau peut se dispenser de s'abandonner au cours de l'eau, et porter avec lui une force provenant soit des rames, soit de la vapeur, soit des voiles; les circonstances de la navigation obligent seules à employer l'un ou l'autre.

à droite, en haut, en bas; or, s'il est possible (comme tout porte à le croire, d'après ce qui se passe à bord des bâtiments), s'il est possible qu'un poids mobile, dans la longueur de la gondole, soit suffisant pour déterminer l'inclinaison en haut et en bas, il ne resterait plus au gouvernail qu'à effectuer l'inclinaison à gauche et à droite; son rôle serait alors bien simplifié : il se réduirait à accomplir autour de l'axe vertical une oscillation semblable à celle du gouvernail des bâtiments, dont il aurait toutes les fonctions.

L'agencement de ce gouvernail, à l'arrière de l'appareil, présentera peut-être quelques difficultés qu'il y aura possibilité cependant de surmonter. En attendant mieux, nous proposerons le moyen suivant :

A l'extrémité du ballon cylindro-conique ABCDEF (*fig.* 19), supposons un gond fixé solidement à l'aide de deux fortes tresses métalliques faisant le tour du ballon, l'une ABCDEF dans le plan vertical, et l'autre dans le plan horizontal, et reliées entre elles par d'autres tresses BF, CE dans des plans perpendiculaires à l'axe.

Dans ce gond viendra s'enfiler la partie MP du gouvernail LMNPQ, puis on remettra en place NP, provisoirement déplacé. Il s'agira alors de maintenir l'axe PQ vertical. C'est ce

qu'on obtiendra à l'aide de deux branches de fer QB et PF terminées par des gonds qui recevront les extrémités boulonnées de PQ.

Le gouvernail étant vertical, il faudra mettre à la main du pilote les moyens de le faire osciller. Pour cela, sur la tresse BF on placera deux fortes poulies X (aux deux points de contact, dont l'un est T, des plans tangents menés de la gondole au cylindre), dans lesquelles passeront deux cordes, allant, d'une part, s'enrouler en sens inverse autour d'un treuil mis en mouvement par le pilote, et, de l'autre, se dirigeant, chacune en se bifurquant en Z, sur les extrémités L et N. Alors, en tournant la roue du treuil, comme à bord d'un bâtiment, le gouvernail inclinera à gauche ou à droite.

Scot, dans son projet, avait placé le gouvernail à l'extrémité postérieure de l'aérostat, sans expliquer comment il l'agençait, et la manœuvre s'en faisait intérieurement. Nous avons démontré (5e condition) que cette disposition était inadmissible.

Meusnier place son gouvernail à l'extrémité de la gondole; il en résulte qu'étant peu éloigné de l'axe du centre de gravité du ballon, ce gouvernail doit avoir l'inconvénient d'être d'un effet peu sensible.

Guyton de Morveau (*Description de l'Aérostate de l'Académie de Dijon*) s'est servi, dans son ascension avec M. de Virly, d'un gouvernail situé à l'arrière, dont l'agencement ne me paraît pas très-solide.

En résumé, la condition du gouvernail dans les aérostats sera facile à résoudre quand on mettra la main à l'œuvre des grandes expériences.

HUITIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DEVRA N'AVOIR RIEN A CRAINDRE DES GRANDS VENTS LORSQU'IL SERA A L'ANCRE OU CAPTIF.

De la manœuvre des aérostats captifs ou à l'ancre par les grands vents.

La manœuvre des aérostats captifs par les grands vents est une question vitale pour l'aéronautique, question dont peu d'auteurs ont envisagé toute l'importance. Elle est cependant telle, que si elle n'était pas résolue un jour, il faudrait désespérer de voir l'aérostation sortir du rôle futile où elle végète; il faudrait renoncer à la voir servir, non-seulement aux observations scientifiques de longue haleine, mais encore à la navigation aérienne. En effet :

1°. Pour l'*aérostat destiné aux ascensions scientifiques*, il est nécessaire que le savant ait toujours son véhicule prêt à le recevoir, à l'élever et le maintenir dans les airs, au milieu de la tempête, s'il y a lieu, sans l'exposer à voir ses observations interrompues par le premier

coup de vent; il faut donc que cet aérostat captif, toujours plein de gaz, soit en état de rester à terre ou à une certaine hauteur, par quelque temps et quelque vent qu'il fasse.

2°. Pour l'*aérostat destiné à la navigation aérienne*, il faut qu'il puisse atterrer et rester à l'ancre, soit à terre, soit à une certaine hauteur (1), partout où il le jugera convenable et sans avoir rien à craindre des grands vents; or il ne peut pas espérer trouver partout un abri contre ces derniers: *il faut donc que le ballon à l'ancre soit par lui-même en état de résister à l'action des tempêtes, soit à terre, soit à une certaine hauteur*. Telle est la condition vitale de la navigation aérienne et des ascensions scientifiques, que nous allons examiner, en considérant les deux cas suivants:

1°. De l'aérostat captif, à terre.

2°. De l'aérostat captif, à une certaine hauteur.

De l'aérostat captif, à terre.

L'aérostat captif, à terre, non-seulement est exposé à être entraîné horizontalement, mais en-

(1) Je dis *à une certaine hauteur*; car si cet aérostat jette l'ancre par un vent fort, et qu'il ne soit pas maître de se

core à être refoulé verticalement sur sa nacelle par le vent : la corde de l'ancre résiste au premier effet ; mais pour résister au second, il faudrait que l'aréostat pût être ramené et fixé contre la terre en mettant la nacelle de côté : c'est ce qu'avait proposé Meusnier. Le poids de la nacelle reposant alors sur la terre et n'agissant plus sur l'aérostat, celui-ci se trouve allégé d'autant et doué d'une force ascensionnelle égale à ce poids, à l'aide de laquelle il peut lutter contre le refoulement du vent.

Mais comment manœuvrer avec facilité et célérité une telle force?

A la rigueur, on le conçoit pour un petit aérostat; mais s'il s'agit d'un aérostat semblable à celui de Meusnier par exemple, qui se trouverait avoir une force ascensionnelle de 25000 kilogrammes provenant de l'allégement de la nacelle (1), il nous paraît difficile alors d'admettre que la manœuvre de cette force de 25000 kilogrammes puisse être prompte et facile. Aussi proposerons-

---

maintenir à une certaine hauteur, comme aussi de modérer sa descente, il sera infailliblement précipité contre terre et brisé avec violence.

(1) La gondole et son équipage, dans le projet de Meusnier, pèsent 25000 kilogrammes. (Ministère de la Guerre, bibliothèque du Génie.)

nous un autre moyen qui permettra à un aérostat captif quelconque (à terre ou en l'air) de se maintenir par les grands vents à la hauteur qu'il choisira, et conséquemment d'approcher de terre autant qu'il le voudra, sans y être attaché autrement que par sa corde d'ancre : à l'aide de ce moyen, que nous expliquerons plus loin, il pourra obéir horizontalement aux changements de direction du vent, comme un navire à l'ancre.

De l'aérostat captif, à une certaine hauteur.

L'aérostat captif, à une certaine hauteur, est exposé par les grands vents à être précipité et brisé avec violence contre terre (*voir* à la page 5 la note de Coutelle).

Mais comment peut-on éviter ce grave inconvénient?

En nous servant du moyen dont nous avons parlé plus haut, c'est-à-dire en appliquant au ballon captif les principes du cerf-volant et en le considérant, ainsi que nous allons le faire, comme étant lui-même un véritable cerf-volant. Il est vrai que, dans ce cas, il faut supposer la possibilité d'avoir des ballons allongés horizontalement, possibilité que nous ne pouvons nous refuser à admettre, après l'expérience (déjà rapportée page 38) du 19 septembre 1784, faite par

les frères Robert avec un ballon allongé de forme cylindro-sphérique, qui les transporta de Paris à Arras.

Exposons donc notre moyen de manœuvrer un aérostat captif quelconque, à terre, ou en l'air.

De la sous-tendante.

Pour bien comprendre ce qui va suivre, il est essentiel d'étudier préalablement les principes qui déterminent l'ascension du cerf-volant, principes que l'on trouvera développés à la note IX de ce volume.

Admettons la possibilité des ballons allongés horizontalement, possibilité démontrée par l'expérience. Soit AB (*fig.* 20) un aérostat captif cylindro-conique, au moment où il vient de jeter l'ancre C et sous le vent V de cet ancre : il est évident que l'effet de l'action du vent sera de ramener cet aérostat à terre (l'axe AB restant horizontal) en faisant décrire au point A un arc de circonférence dont la corde de l'ancre AC sera le rayon, et C le centre. Il s'agit donc non-seulement d'empêcher l'appareil d'être précipité à terre, mais encore de le maintenir à la hauteur qu'on voudra.

Pour cela, j'attache à un certain point D de la

corde de l'ancre AC, une poulie dans laquelle passera une corde dont l'une des extrémités sera fixée à l'arrière F du ballon, et l'autre au point E, dans la nacelle. Il est évident que l'angle CAB de la corde de l'ancre AC avec l'axe AB de l'appareil ne variera plus, et que l'aérostat se trouvera dans la même position qu'un cerf-volant, c'est-à-dire que son axe cessera d'être horizontal, si le vent continue à souffler; qu'ainsi le système aura l'aspect représenté dans la *fig.* 21.

Mais alors, le vent agissant en dessous et à l'arrière du ballon fera remonter celui-ci comme un cerf-volant et le forcera à regagner d'autant plus vite sa première position, que le vent sera plus fort.

Ainsi donc l'appareil serait forcément maintenu à la hauteur où l'angle CAB a été rendu invariable par la corde sous-tendante DF; or, comme on peut fixer cette corde DF, quelle que soit la hauteur du ballon, et que son extrémité E est dans la nacelle, il en résulte que l'aéronaute sera toujours maître de choisir la hauteur à laquelle il voudra rester stationnaire, puisqu'il lui suffira d'arrêter à cette élévation la corde sous-tendante DF, dont l'une des extrémités E se trouve à sa portée. Il pourra donc s'approcher aussi près de terre qu'il le voudra,

le ballon oscillant suivant le vent, dans un plan horizontal, comme un navire à l'ancre, sans toucher le sol. Cependant par les grands vents il sera prudent de se tenir à une certaine hauteur.

Lorsque l'expérience aura pleinement confirmé l'existence des courants contraires superposés et séparés par une couche d'air calme, les aéronautes auront alors un moyen simple d'éviter les funestes effets de la tempête, ainsi que la fatigue de la corde de l'ancre; ils se dirigeront vers les hautes régions de l'atmosphère pour y stationner dans le calme en jetant l'ancre à terre et réglant la corde sous-tendante DF. La longue chaîne de l'ancre traverserait alors la couche agitée, et s'inclinerait en rapprochant l'appareil de terre; mais aussitôt que l'aérostat viendrait à plonger dans le courant d'air agité, il serait immédiatement frappé en dessous et renvoyé dans la couche calme.

Dans le cas où cette couche calme se rapprocherait ou s'éloignerait de terre, il faudrait virer au cabestan pour raccourcir ou allonger la chaîne de l'ancre et maintenir l'appareil dans son milieu calme.

En résumé, l'*aérostat captif pourra facilement, à l'aide du moyen que nous venons d'in-*

diquer, se maintenir, par les grands vents, à la hauteur que l'on voudra (1).

Remarque. Ce moyen ne serait pas applicable aux ballons sphériques, qui de quelque côté qu'on les expose aux vents, présentent toujours une surface égale. Ainsi, *la manœuvre des aérostats captifs, d'accord avec la direction et la construction des grands aérostats, qui exigent des surfaces développables* (*comme nous l'avons vu*), *entraîne la nécessité d'avoir des ballons allongés.*

L'expérience seule pourra trancher la question de la *manœuvre des aérostats captifs,* une des plus épineuses de l'aéronautique.

---

(1) Cette application du principe du cerf-volant a été pratiquée sur certains fleuves, entre autres sur le Pô, pour faire traverser d'un bord à l'autre un bateau de passage (*voir* la *fig.* 22).

HF est le bateau; EGBAC, corde un peu longue soutenue, de distance en distance, sur des barques A, B, C; C, point d'attache ou pieu enfoncé dans le fond du fleuve; GF, corde analogue à la sous-tendante DF (*fig.* 20 et 21), réglant l'angle GFH. Ainsi disposé, le bateau traverse la rivière par la seule force du courant : pour revenir, on se sert d'une corde GH agissant en sens contraire de GF.

NEUVIÈME CONDITION.

L'AÉROSTAT DE GRANDES DIMENSIONS DOIT ÊTRE D'UNE CONSTRUCTION FACILE.

Aperçu de la construction des aérostats à dimensions colossales marchant avec une faible pression intérieure.

Si dans les grands aérostats d'étoffes peu flexibles il fallait faire une carcasse intérieure pour la construction, ainsi que j'ai été obligé de le faire pour un ballon de cuivre de 10 mètres de diamètre, on pourrait la regarder comme presque impossible à exécuter. Comment, en effet, admettre une charpente qui serait haute comme les tours de Notre-Dame ? comment la retirer de l'intérieur de l'appareil une fois achevé ?

On agira tout différemment pour la construction de ces gigantesques appareils. Leurs enveloppes seront des surfaces développables, des cylindres terminés par des cônes qui, comme on le sait, ont la propriété de pouvoir se plier, s'a-

platir et s'étendre sur une surface plane. C'est dans cette position d'aplatissement que le ballon sera construit : on choisira un vaste terrain, sur lequel on viendra confectionner, en plein air, l'immense appareil qui, une fois terminé, sera gonflé d'hydrogène (1) et prêt à s'enlever. On aura un atelier couvert pour préparer les bandes à souder ou à coller ; ces bandes ne seront mises en place, qu'armées de tout ce qui doit les garantir de l'eau(2). Pendant la pluie, on travaillera à l'intérieur ; et à l'extérieur quand il fera beau. Le terrain sur lequel doit reposer la surface aplatie de l'appareil sera légèrement incliné et bombé en forme de cylindre pour l'écoulement des eaux pluviales. Des pièces de bois d'un certain poids seront mises sur les parties de l'enveloppe déjà faites, pour les empêcher d'être soulevées et emportées par les coups de vent. L'appareil construit, plein de gaz, et à flot, semblable au vaisseau qui vient d'être lancé, sera conduit dans le port aérostatique pour recevoir son gréement. Le port aérostatique

---

(1) Le gaz devra arriver par plusieurs ouvertures dans l'appareil, afin de soulever l'enveloppe d'une manière égale, et d'éviter ainsi le frottement de cette enveloppe sur elle-même.

(2) Les toiles goudronnées rempliront cet objet.

sera probablement une profonde vallée à l'abri des vents.

Telle est l'idée générale que l'on doit se faire de la construction d'un aérostat colossal en étoffe peu flexible et marchant avec une légère pression intérieure.

DIXIÈME CONDITION.

LA NAVIGATION AÉRIENNE DOIT PRÉSENTER DES AVANTAGES SUR LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT USITÉS JUSQU'ICI. EXEMPLES DE QUELQUES APPLICATIONS.

Par la navigation aérienne, toute ville jouit des avantages d'un port de mer.

En effet, quel est l'avantage d'un port de mer sur une ville de l'intérieur des terres? C'est la facilité d'exportation et d'importation par l'économie des transports par mer. Eh bien, par la navigation aérienne, un point quelconque du globe jouit des avantages du port de mer. Il est vrai que pour le prouver péremptoirement, il faudrait démontrer qu'à sécurité et vitesse égale, le fret par air ne coûterait pas plus cher que par mer, ou, ce qui revient au même, que le prix d'un aérostat serait égal à celui d'un bâtiment de même tonnage; mais, d'une part, les éléments du calcul manquent pour l'aérostat, et, de l'autre, dans la marine, les prix de revient sont très-variables par des raisons qu'il serait trop long de détailler ici: cependant, si la surface d'un aéro-

stat colossal est effectivement considérable auprès de celle d'un bâtiment de même tonnage, on peut dire, en revanche, que la légèreté, le bon marché des matériaux et la simplicité de la construction de l'aérostat présentent des avantages économiques suffisamment grands relativement aux dépenses excessives provenant de la cherté du bois et de la quantité de matériaux nécessaires au vaisseau, pour que les frais se compensant de part et d'autre, il soit permis de conjecturer qu'un aérostat colossal ne coûterait pas plus qu'un bâtiment de même tonnage.

Un vaisseau de 120 canons coûte au moins 3 millions; un bâtiment à vapeur de 450 chevaux, le *Magellan* par exemple, coûte également 3 millions : peut-on croire qu'avec une pareille somme il serait impossible d'établir un aérostat colossal de 140 mètres de diamètre sur 560 mètres de longueur? Nous ne le pensons pas.

Communication directe du producteur avec le consommateur.

La navigation aérienne aurait un grand avantage sur la marine, à cause de sa facilité à pénétrer dans l'intérieur des terres et à mettre directement en rapport, sans transbordement, les lieux de production et de consommation. Dé-

veloppons notre pensée par quelques exemples.

Les substances grenues seraient chargées et déchargées par écoulement; la houille serait prise sur la mine et déchargée par une trappe à sa destination; le blé, embarqué dans le grenier du fermier, serait débarqué de même (1), ainsi que les bois et les fourrages pris dans la forêt et les champs; les pierres de taille, prises à la carrière (2), seraient débarquées sur les constructions mêmes et à leur place définitive.

La longueur et la largeur de la barque d'un grand aérostat le rendraient éminemment propre à transporter des marchandises encombrantes, telles que cotons, laines, cuirs, fourrages, etc.

Les vins et toute marchandise craignant la chaleur pourraient voyager en toute saison, puisque la température des hauteurs aéronautiques est d'environ + 4 degrés, tandis que celle des caves est de + 7 degrés. Qui peut calculer

(1) Dans les années de disette, les blés de la Russie méridionale pourraient nous être apportés en deux jours.

(2) L'obélisque de la place de la Concorde, dont le transport n'a pas coûté moins de 1 million, aurait pu être enlevé à Luxor même, et déposé en quatre jours au lieu de sa destination, sans cesser de lui conserver sa position verticale. De même les statues colossales antiques, qui existent en Égypte, à Ninive et à Babylone, seraient amenées à Paris en quatre jours.

de quelle ressource seraient, en été, les basses températures des grandes hauteurs atmosphériques (1)? Au lieu d'être en terre, les glacières seraient en l'air.

L'aérostation auxiliaire de la marine.

On ne saurait trop dire quel sera le rôle de l'aérostation comme auxiliaire de la marine ou de la navigation fluviale. Sans parler de l'emploi d'un aérostat comme voile satellite se dirigeant le long du cours d'un fleuve, au-dessus d'un bateau auquel il serait attaché, il est certain qu'un aérostat colossal pourra, dans quelques cas, enlever au milieu des airs des bâtiments chargés, des vaisseaux de 120 canons en pleine mer, pour les soustraire aux tempêtes ou pour les transporter au delà d'un isthme (comme les isthmes de Suez et de Panama), ou par-dessus des montagnes (2).

Avantage de la navigation aérienne sur les transports par mer.

Il est un fait que les aéronautes et ceux qui ont médité sur l'aérostation, comprendront facilement : c'est qu'*un aérostat, en plein air, hors*

(1) Lorsque le thermomètre était à terre à + 27°,75, M. Gay-Lussac, en montant à 7016 mètres, trouva — 9°,5.

(2) Un vaisseau de 120 canons, armé, équipé, avec tout

dès nuages, est emporté par le vent, avec tout le milieu dans lequel il se trouve, sans la moindre secousse, sans cesser de jouir d'un calme si parfait (quelle que soit la vitesse) qu'une bougie allumée n'y serait pas éteinte, pourvu toutefois qu'il ne fasse pas usage de sa force motrice. Il est comme le voyageur dans l'intérieur d'un wagon, ou comme un poisson dans un bocal qui voyagerait à grande vitesse, ou encore comme le na-

---

son chargement, déplace 5041 mètres cubes d'eau, dont le poids est celui du bâtiment.

Un mètre cube d'eau douce pèse.....	1000^k
Un mètre cube d'eau de mer (dont la densité est 1,03) pèse...	1030^k
Donc 5041 mètres cubes pèsent.....	5192230^k

Quel sera le rayon du ballon cylindro-conique capable d'enlever ce poids? Il faudra que la force ascensionnelle P puisse transporter ce poids augmenté de 2000000 de kilogrammes, représentant le poids de la machine, barque, agrès, etc.; soit donc en chiffres ronds 7000000 de kilogr. la valeur de P dans la formule (*voir* la note de la page 118)

$$P = 19{,}2\,R^3 - 37\,R^2,$$

je ferai $P = 7000000^k$. On aura

$7000000^k = 19{,}2\,R^3 - 37\,R^2$; d'où $R = 75^m$ environ.

Ainsi un aérostat cylindro-conique de 150 mètres de diamètre et de 600 mètres de longueur soulèverait un vaisseau de 120 canons en pleine mer.

geur qui s'abandonne au courant; il est emporté moelleusement, doucement, sans s'en douter pour ainsi dire, quelle que soit la vitesse de ce courant. Eh bien, cette propriété seule constitue, pour la navigation aérienne, une notable supériorité sur la marine, dont le roulis et le tangage sont un grand sujet de fatigue pour le bâtiment et les marins.

Le *mal de mer* aura son analogue dans le malaise qu'éprouveront les aéronautes par les changements de hauteur; mais ce *mal d'air* deviendra nul quand les transitions de hauteur seront ménagées.

Dangers.

Les dangers à courir dans les airs sont bien moins grands et moins nombreux que ceux que l'on a à redouter sur mer : ici on a constamment à lutter contre deux éléments, et ces luttes sont journellement suivies de naufrages et de sinistres; là, au contraire, on ne cesse jamais de jouir du calme le plus parfait : pour peu qu'on ait des craintes, rien n'empêche de changer de hauteur, de descendre ou de s'abandonner au courant. Il n'y a pas d'avarie qui n'ait son remède et puisse mettre en danger de mort (1).

(1) Le plus grave accident qui puisse arriver dans un aérostat à pression intérieure, serait celui d'une voie d'air,

Vitesse.

La vitesse de l'aéronautique est celle des vents : pour juger par conséquent de sa supériorité sur celle de la marine, on n'a qu'à consulter la Table V

---

provenant d'un choc qui ferait une ouverture que je suppose de 4 à 5 mètres carrés. Qu'arriverait-il ?

Le premier effet serait un violent dégagement de gaz, motivé par l'excès de la pression intérieure, lequel soulageant le ballon du poids de l'hydrogène qui occasionne cet excès de pression, ferait remonter l'appareil. L'égalité de pression intérieure et extérieure étant établie, le ballon commencerait alors à descendre. Ici deux cas se présentent :

1°. Si la voie d'air est placée au-dessus du plan équatorial (cas le moins probable et le plus dangereux), la vitesse de la chute sera d'autant plus accélérée, que cette voie sera plus rapprochée du sommet de l'appareil : car le dégagement du gaz est d'autant plus rapide que l'ouverture est plus élevée.

2°. Si la voie est placée au-dessous du plan équatorial (cas le plus probable et le moins dangereux), la vitesse de la chute sera d'autant moins accélérée, que cette voie sera plus rapprochée de la partie inférieure du ballon : car le dégagement du gaz est d'autant moins rapide que l'ouverture est moins élevée.

A en juger d'après l'expérience de certains ballons, que l'on a vus marcher avec leur appendice inférieur ouvert, sans qu'il en résultât des dégagements de gaz, il est probable que la voie d'air au-dessous du plan équatorial serait sans aucun danger.

Mais, dans l'un et l'autre cas, on pourra toujours contrebalancer, sinon annuler la vitesse de la chute, à l'aide de la

de la note V (1) : alors on comprendra que, par un vent très-fort, la vitesse d'un aérostat serait de 1728 kilomètres par jour, sans machines, et qu'elle peut être de 3000 kilomètres avec des machines. On irait donc de Londres à Calcutta (environ 8000 kilomètres à vol d'oiseau) en deux ou trois jours, et cela sans secousses, sans fatigue, sans s'en douter (2).

Ne semble-t-il pas, d'après ce qui précède,

---

machine à vapeur, que l'on fera agir comme pour monter. Il en résultera que l'on sera porté, d'un côté, vers la terre par la perte de gaz, et, de l'autre, vers le ciel par la machine; effets qui, en se contre-balançant plus ou moins, permettront d'atterrer sans danger de mort.

(1) Faujas de Saint-Fond, p. 247, dit: « Il résulte des » expériences de Versailles et du champ de Mars, qu'avec » le vent le plus faible, les machines aérostatiques parcourront » un espace horizontal de 156 lieues en un jour. »

(2) Ici surgissent une foule de questions qui demanderaient à être traitées d'une manière spéciale, ce qui n'entre pas dans le plan de cet ouvrage. Nous nous contenterons d'en citer quelques-unes :

1°. *Peut-on espérer une direction de vent assez constante pour faire, d'un seul jet, des traversées de* 8 *à* 10000 *kilomètres?*

Plusieurs savants (Franklin, Saussure, etc.) pensent que lorsqu'il existe un courant d'air dans un sens à une certaine hauteur, il en existe un autre en sens contraire au-

que la destinée mystérieuse de la navigation aérienne soit non dans les traversées interna-

---

dessus ou au-dessous. Franklin, pour le prouver, a pris trois bougies allumées qu'il a placées dans l'embrasure d'une porte ouverte d'un appartement très-chaud, l'une au-dessus, l'autre au milieu, et la troisième au-dessous. La flamme de la première était inclinée en dehors, celle de la deuxième immobile, et celle de la troisième inclinée en dedans; par conséquent, il y avait un courant d'air chaud sortant par le dessus, un autre d'air froid rentrant par le bas, et le calme au milieu. Il en est de même dans l'atmosphère (*). Donc, si le vent cessait

(*) La météorologie nous enseigne déjà qu'il existe, dans les hautes régions de l'atmosphère, un grand courant tropical allant des tropiques aux pôles dans les deux hémisphères; il faut espérer que bientôt les observations, faites sur divers points du globe, nous en apprendront davantage sur les vents et leurs directions.

On trouve un exemple remarquable de locomotion aérostatique par les courants contraires, dans la quatrième ascension de M. Eugène Robertson, faite à Lisbonne, le 8 avril 1822. « Le vent l'avait porté au » delà du Tage, à 3 lieues environ de Lisbonne, lorsqu'il remar- » qua au-dessus de sa tête des nuages qui suivaient une route op- » posée à la sienne : il lui parut singulier d'atteindre leur hauteur, et » de revenir avec eux au-dessus de la ville, en suivant le courant d'air » qui leur imprimait cette marche. Il jeta du lest et parvint à une » élévation de 1600 toises.... La conjecture de M. Robertson était » fondée, et sa tentative réussit pleinement : il repassa au-dessus du » Tage, et revint planer au-dessus de Lisbonne, où il eut d'abord » l'intention de descendre; mais il apprécia tout le danger d'un tel » essai, et effectua sa descente au delà de la ville, dans une belle » plaine; de sorte que les mêmes personnes qui avaient été témoins » de son départ purent assister à son retour. Cette expérience de na- » vigation aérienne, par le moyen des courants opposés, est du plus » haut intérêt. » (*Essai sur les voyages aériens d'Eugène Robertson;* par E. Roch. Paris, 1831.)

tionales qu'on laisserait aux petites vitesses des bateaux à vapeur et des chemins de fer, mais dans les communications rapides d'un antipode à l'autre?

---

d'être favorable, on peut toujours, en changeant de hauteur, sinon chercher un nouveau courant favorable, du moins trouver une couche calme où, à l'aide de la force motrice, on pourrait continuer à naviguer sans relâche vers la destination voulue.

2°. *Qu'arriverait-il dans une descente forcée au milieu d'un pays barbare ou ennemi?*

Le ballon colossal descendrait majestueusement avec toute sa puissance, son monde, ses canons, à l'aide desquels il saurait maintenir en respect les hordes sauvages, dans le cas où la vue du gigantesque appareil ne les aurait pas terrifiées.

3°. *Les calculs astronomiques seront-ils les mêmes que ceux de la marine?*

Ils seront augmentés de l'introduction de la hauteur du ballon, indiquée par le baromètre; car le marin, qui se trouve toujours à la même distance du centre de la terre, n'a besoin que de connaître la longitude et la latitude, tandis que l'aéronaute, obligé de changer souvent de hauteur, devra, dans ses observations, noter cette hauteur, pour en déduire la longitude et la latitude correspondante, en supposant les plans méridiens et parallèles de la sphère terrestre prolongés dans l'atmosphère. Des Tables, préparées d'avance, donneront, pour chaque hauteur au-dessus du niveau de la mer, la quantité de myriamètres renfermée dans le degré aérien, lequel en contiendra d'autant moins, que la hauteur sera plus petite; ce qui revient à dire que le plus court trajet d'un point à

L'aérostat colossal considéré comme machine de guerre.

S'il est vrai que plus les moyens de destruction deviendront énergiques, moins les chances de

---

un autre sera celui qui sera le plus près de terre. Le sextant, la boussole, le loch joueront du reste le même rôle.

4°. *Les montagnes élevées de plusieurs milliers de mètres ne seront-elles pas un danger pendant la nuit ou les temps brumeux?*

Non : car l'aéronaute saura d'avance la route qu'il doit suivre, les cimes qu'il doit dépasser, et il se maintiendra à une hauteur suffisante pour passer sans périls au-dessus de ces points culminants.

5°. *La législation devra-t-elle subir des changements lorsque l'aérostation sera en pleine activité?*

Nous ne le pensons pas. Le plus petit aérostat dirigeable n'aura pas moins de 20 à 30 mètres de diamètre, et il ne pourra, comme quelques personnes en ont émis la crainte, venir planer trop près au-dessus d'une ville dans des intentions hostiles ou déloyales; car, pendant le jour son énorme volume serait aperçu au loin, et, pendant la nuit il y aurait péril pour lui à s'approcher ainsi des bâtiments, sans clarté suffisante pour se diriger. D'ailleurs, comme cela se pratique dans les ports, la vigie pourra, du haut d'une tour, avertir de ce qui se passe dans l'atmosphère. Quant à la police des airs, elle sera celle des mers. Quelques escadres de ballons de guerre, des croisières ou des stations protégeront le pavillon national en parcourant, à toute hauteur, les différentes couches atmosphériques du globe.

guerre seront à craindre, on peut assurer que le rôle de l'aérostation sera tout pacifique. Que l'on juge, en effet, de la force d'argument d'une puissance quelconque (l'Angleterre entre autres) qui arriverait en peu de jours à l'autre extrémité du globe, au-dessus de la capitale de son ennemi (à Pékin par exemple) avec un énorme ballon transatlantique de 500 chevaux, rempli de bombes monstres et remorquant plusieurs grands aérostats pleins de gaz détonant (1), qui pourraient, au milieu d'une nuit calme, être amenés au-dessus d'une ville, puis lâchés pour tomber, à l'aide de poids, sur un point désigné et détoner au moyen d'une mèche enflammée, pendant que le transatlantique allégé s'éloignerait dans les airs. Comment résister à cette sommation d'un amiral faite à un empereur : « Il me faut telle condition; » sinon je fais sauter vous, votre capitale, votre » armée, les principales villes de votre empire, » et cela en peu de jours et sans qu'il m'en coûte » un seul homme. »

Les guerres de terre et de mer seraient forcément combinées avec les guerres aériennes, car un aérostat pourrait venir du haut des airs, foudroyer avec ses canons, faire sauter avec ses bombes monstres et ses ballons de gaz détonant,

(1) Un mélange d'hydrogène et d'air par moitié.

l'escadre ou l'armée qui ne serait pas soutenue par une force aérienne suffisante pour neutraliser celle de son ennemi. Ces guerres aériennes seraient terribles, car le passage d'un seul boulet rouge, au travers du corps du ballon, suffirait pour enflammer le gaz et couler bas l'immense appareil.

Les bombes monstres seraient pointées à la main, le long d'un fil-à-plomb dirigé sur le point voulu, avec une précision de tir impossible aux trajectoires paraboliques des mortiers.

Une bombe par vaisseau suffirait pour le faire sauter et couler bas. Quelques-unes, bien réparties sur une armée, principalement sur la cavalerie et les caissons d'artillerie, la mettraient en déroute.

Une vingtaine de ces bombes judicieusement placées sur une capitale et à des moments bien choisis, ou au besoin une seule dirigée sur la séance royale d'un gouvernement constitutionnel, réaliserait l'atroce projet de la conspiration des poudres de 1604, en Angleterre, et ferait sauter d'un seul coup le roi, la famille royale, les chambres et le gouvernement, en réduisant la ville en cendres.

Mais à Dieu ne plaise, et loin de nous l'idée que la destinée de l'aérostation dans son plein essor se transforme jamais en un rôle de car-

nage et de destruction ! Non; nous aimons à croire, au contraire, que cette épée de Damoclès continuellement suspendue au-dessus des plus grands empires (1) servira d'aiguillon puissant pour les amener, par des voies harmoniques, à une politique conciliatrice, à la formation de ces congrès suprêmes si désirés, qui jugeront, sans guerre, les griefs des peuples entre eux, comme le jury ceux des citoyens (2).

Semblable aux voitures publiques, aux bateaux à vapeur qui, par les fréquents rapports qu'ils ont établis, ont déterminé le rapprochement des peuples limitrophes, l'aérostation, par ses rapides

---

(1) Car le plus petit roitelet, un riche particulier même pourrait, dans un coin retiré de ses domaines, faire construire, en secret, un aérostat colossal qu'il tiendrait roulé et dissimulé jusqu'au moment propice pour le lancer sur la capitale du plus puissant empire. Après l'accomplissement de sa mission, l'aérostat serait vidé et roulé, ou bien il changerait de pavillon, sans qu'il fût possible de connaître l'auteur de ces ravages. De là la nécessité des croisières aériennes.

(2) « S'il existait, au milieu de l'Europe, un tribunal qui » jugeât, au nom de Dieu, les nations et les monarques, et » qui prévînt les guerres et les révolutions, ce tribunal serait » le chef-d'œuvre de la politique, et le dernier degré de la » perfection sociale : les papes, par l'influence qu'ils exer- » çaient sur le monde chrétien, ont été au moment de réa- » liser ce beau songe. » (CHATEAUBRIAND, *Génie du christianisme*, t. II, liv. VIII, chap. XI.)

communications d'un antipode à l'autre, déterminera, entre toutes les populations du globe, cette homogénéité de mœurs, d'idées, de sentiments qui finira, dans la suite des siècles, par faire de l'humanité une seule et même famille. Mais, nous le répétons, si tel doit être l'avenir tout pacifique de l'aérostation, n'oublions pas, pour notre sûreté, sa valeur comme machine de guerre.

Des aérostats paratonnerres et paragrêles.

M. Arago, dans son intéressante Notice scientifique sur le tonnerre, publié dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour l'année 1838, a dit, page 569 :

« La formation de la grêle semble incontestable-
» ment liée à la présence, dans les nuages, d'une
» abondante quantité de matière fulminante. Sou-
» tirez cette matière, et la grêle ne naîtra pas, ou
» bien elle restera à l'état rudimentaire, et vous
» ne verrez plus tomber sur la terre que du
» *grésil* inoffensif. Doute-t-on des grands avan-
» tages que l'agriculture retirerait dans cer-
» tains pays de la disparition des orages à grêle?
» Voici ma réponse : En 1764, un habitant
» éclairé du midi de la France écrivait ces lignes
» dans l'*Encyclopédie* : « Il n'y a pas d'année
» où la grêle ne ravage la moitié, et quelquefois

» les trois quarts des diocèses de Rieux, Com-
» minges, Couserans, Auch et Lombez. » Le
» seul orage du 13 juillet 1788 frappa en France
» 1039 communes. Une enquête officielle porta
» le dégât à 25 millions de francs! »

Le cerf-volant présente des dangers.

Page 570: « Aussi n'est-ce pas de cerf-volant
» qu'on devrait, suivant moi, se servir; je vou-
» drais qu'on employât des *aérostats captifs*
» pour cette grande et belle expérience; je
» voudrais qu'on les fît monter beaucoup plus
» haut que les cerfs-volants de *Romas*. Si, en
» dépassant d'une centaine de mètres la couche
» atmosphérique où s'arrêtent ordinairement les
» extrémités des paratonnerres, de petites ai-
» grettes deviennent des langues de feu de 3 à 4
» mètres de long, que n'arriverait-il pas lorsque
» tout le système, suivant les circonstances, s'é-
» tant élevé trois, ou quatre..., ou dix fois plus,
» irait presque affleurer la surface inférieure des
» nuées? lorsque aussi, et cette particularité a de
» l'importance, la pointe métallique soutirante
» qui serait en communication avec la longue
» corde demi-métallique faisant les fonctions de
» conducteur, étant fixée vers la partie supé-
» rieure du ballon, se présenterait aux nuages à
» peu près verticalement ou dans la position d'un

» paratonnerre ordinaire? Il n'y a rien de trop
» hasardé à supposer que, par ce système, on
» parviendrait à faire avorter les plus forts
» orages. En tout cas, une expérience qui inté-
» resse si directement la science et la richesse
» agricole du royaume, mérite d'être tentée. »

La réalisation de l'idée de l'illustre savant que je viens de citer a été un des principaux motifs qui m'ont engagé à construire un ballon de cuivre; car je pensais que, pour qu'un aérostat fût paragrêle, il fallait qu'il séjournât indéfiniment dans l'atmosphère, qu'il fût par conséquent complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz: conditions que je croyais trouver dans le cuivre.

L'aérostat paragrêle devra faire tête à l'orage sans avoir à redouter d'être précipité et brisé à terre par la force du vent; par conséquent on ne peut admettre sa possibilité que lorsque ce que nous avons dit sur la *manœuvre de l'aérostat captif* aura été constaté par l'expérience. Il est évident qu'alors il pourrait rendre les plus grands services.

Tels sont les principaux usages auxquels l'aérostation pourrait être employée. Nous n'en donnons ici qu'un aperçu sommaire, et nous laissons à l'imagination du lecteur le soin de les développer et d'en conclure les avantages des transports aériens.

ONZIÈME CONDITION.

INDIQUER L'ORDRE A SUIVRE DANS LES EXPÉRIENCES FUTURES, ET LES VOIES ET MOYENS POUR EN COUVRIR LES FRAIS.

De l'ordre à suivre dans les futures expériences aérostatiques.

On devra étudier la question de la *matière de l'enveloppe*, jusqu'à ce qu'on soit enfin arrivé à une enveloppe complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz, sans laquelle il n'y a rien de sérieux à attendre de l'aérostation. Il faudra que cette question soit menée de front avec d'autres concernant la forme, la manœuvre de l'aérostat captif, la direction, etc.

Ainsi, si j'avais un aérostat à construire, en vue du progrès de la science, je le ferais en carton verni à l'intérieur et à l'extérieur, et de plus recouvert d'autres préservatifs hydrofuges (1). Ce

(1) Parmi les hydrofuges qui présentent quelques chances de succès, je citerai la glu marine, qui est insoluble et sert de colle. Une feuille de plomb pourrait peut-être s'appliquer par-dessus.

carton serait fait sur place et de plusieurs feuilles de papier superposées à couvre-joint, de manière que l'enveloppe fût continue, d'un seul morceau et d'une imperméabilité assurée.

Il faudrait qu'elle fût à l'épreuve d'une légère pression intérieure, de $0^m,002$ par exemple, ce qui s'obtiendrait à l'aide d'une épaisseur ou d'un nombre de feuilles de papier facile à calculer, d'après le mode que nous avons rapporté page 75.

Il faudrait que cet aérostat eût une forme cylindro-conique dont le grand axe serait égal à quatre fois le diamètre, cas dans lequel on a, pour l'équilibre à terre,

$$F = 19,2\,R^3 - 37\,R^2 p,$$

p étant le poids du mètre carré de l'étoffe de l'enveloppe (*voir* page 119).

Pour une première expérience, un rayon de 5 mètres suffirait; car il donnerait une force ascensionnelle d'environ 1 500 kilogrammes, en supposant $p = 1$ kilogramme.

Ce ballon étant construit, on s'en servirait pour étudier le moyen (indiqué précédemment) de manœuvrer les aérostats captifs. Et si l'essai était couronné de succès, on pourrait le destiner aux ascensions scientifiques ou à l'étude du paragrêle.

Dans la construction d'un second ballon, on

prendrait des dimensions plus importantes, telles que 20 mètres de diamètre sur 80 mètres de longueur, qui promettent 15500 kilogrammes de force ascensionnelle à terre (1) [en supposant $p = 1$ kilogramme] pour le ballon nu, force suffisante pour enlever vingt bons rameurs, à l'aide desquels on se livrerait enfin à une expérience sérieuse de direction, contre des courants très-faibles. Le résultat prévu de cette expérience trancherait définitivement la grande question *de la direction*, que notre siècle ne doit pas laisser plus longtemps indécise.

Cette expérience, qui coûtera près de 100000 fr. étant consommée avec succès, il faudrait aborder les grandes dimensions, à l'aide desquelles on pourrait avoir des machines à vapeur permettant de remonter des courants d'autant plus forts, que ces machines seraient plus puissantes, et par conséquent que l'aérostat serait, lui-même, plus puissant ou plus volumineux.

---

(1) Dans la formule

$$F = 19{,}2\,R^3 - 37\,R^2 p,$$

en faisant $R = 10^m$, on a

$$P = 15500^k.$$

Le poids de vingt rameurs est de 2000 kilogrammes.

Il restera pour la nacelle, les filets, agrès, etc., 13500 kilogrammes, ce qui est suffisant.

Mais ces expériences, qui coûteront plusieurs millions, sont encore trop loin de toucher à leur réalisation pour qu'il soit utile de nous en occuper ici avec plus de détails.

Nécessité du concours des gouvernements, ou d'une association de capitalistes, pour les expériences aéronautiques.

On voit, par ce qui précède, qu'avant d'arriver à une solution complète de la *navigation aérienne*, il y aura plusieurs millions à dépenser; or il est évident que ce sacrifice est au-dessus des moyens de simples particuliers, et comme la question est humanitaire, puisqu'elle peut doter la société d'une nouvelle voie de communication plus puissante, plus rapide et plus économique en même temps que toutes les autres, il serait à désirer qu'un ou plusieurs gouvernements, ou bien quelques riches capitalistes, fissent les fonds nécessaires pour tenter en commun des expériences concourant vers un même but, au lieu de faire, de tous côtés, et dans des sens divergents, des doubles emplois de fonds et de temps; il serait à désirer encore qu'il se formât une Société aéronautique, composée de membres volontaires de toutes nations. Cette Société voterait chaque année les sommes à dépenser et discuterait les

projets à mettre à exécution. Un projet ne devrait être adopté que lorsqu'il aurait pour but de faire faire un nouveau pas à la science. Toutes expériences futiles ou sans but de progrès seraient formellement interdites. Plût à Dieu que l'on eût agi ainsi depuis cinquante ans! Alors nous aurions vu l'aéronautique se perfectionner, au lieu d'être témoins de son état stationnaire, pour ne pas dire de sa décadence.

Actualité de la question aéronautique pour les gouvernements.

Si un pays arrivé à un état de viabilité complet doit avoir ses voies de terre, d'eau et de fer : les premières pour les communications vicinales; les secondes pour le transport des marchandises encombrantes et non pressées, et les troisièmes pour les communications rapides et régulières avec les divers points du territoire; nous ajouterons que, pour atteindre à la perfection de son système de viabilité, ce pays doit avoir aussi ses voies aériennes destinées à ses communications rapides et régulières d'un antipode à l'autre et avec les divers points du globe. Nous laisserons aux hommes d'État le soin de voir si, lorsqu'on a déjà consacré plusieurs millions à des expéditions maritimes au pôle nord, pour la re-

cherche d'un passage de l'océan Atlantique dans la mer Pacifique (recherche stérile, puisque les glaces et la température de ces latitudes rendront toujours ce passage impraticable); s'il serait imprudent, disons-nous, de consacrer quelques millions à la recherche d'un moyen de transport qui surpasserait tous les autres par sa rapidité et ferait entrer l'humanité dans une nouvelle ère de prospérité.

Nous n'en recommanderons pas moins à l'attention de tous les gouvernements ce que nous avons dit de l'aéronautique sous le rapport économique, militaire et commercial.

DOUZIÈME CONDITION.

CONCLUSION.

Résumé des études sur les conditions de la navigation aérienne.

Rassemblons dans un tableau synoptique les diverses conditions de la navigation aérienne, en ayant soin d'indiquer les points litigieux et les recherches qui restent à faire :

CONDITIONS A REMPLIR.	OBSERVATIONS.	RECHERCHES A FAIRE.
PREMIÈRE CONDITION. — DU CONTENU DE L'ENVELOPPE.	On est fixé sur la nature de ce contenu : c'est l'hydrogène.	Trouver un écoulement au sulfate de zinc ou de fer, ou tout autre moyen d'avoir le gaz à meilleur marché qu'il n'est aujourd'hui. Voir s'il ne serait pas possible de l'obtenir promptement et économiquement par la décomposition de l'eau, autrement qu'on ne l'a fait jusqu'à présent.
DEUXIÈME CONDITION. — DE LA MATIÈRE DE L'ENVELOPPE.	La soie, les tissus et les peaux sont des substances insuffisantes sous le rapport de l'imperméabilité et de la conservation à l'air. Les métaux sont d'un travail très-dispendieux et ne se prêtent que difficilement à la nécessité reconnue d'avoir une	Étudier le carton composé de plusieurs feuilles de papier, collées à couvre-joint, et vernies de manière à les rendre hydrofuges.

CONDITIONS A REMPLIR.	OBSERVATIONS.	RECHERCHES A FAIRE.
DEUXIÈME CONDITION (Suite). — DE LA MATIÈRE DE L'ENVELOPPE.	épaisseur composée de plusieurs feuilles superposées. Dans tous les cas, il paraît indispensable d'employer des étoffes peu flexibles et plus résistantes que celles dont on s'est servi jusqu'à présent.	
TROISIÈME CONDITION. — DE LA FORME DE L'ENVELOPPE.	La direction, la manœuvre de l'aérostat captif, exigent des formes allongées; et la pression intérieure, ainsi que la construction des grands aérostats, nécessitent l'adoption d'une surface développable cylindro-conique.	Essayer la construction d'un aérostat cylindro-conique. Rechercher la meilleure proportion du grand axe au petit axe. Meusnier propose que le grand axe soit égal à deux ou trois fois le petit; peut-on prendre quatre fois?
QUATRIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DOIT AVOIR UNE CERTAINE PRESSION INTÉRIEURE POUR NE PAS ÊTRE DÉFORMÉ PAR LA RÉSISTANCE DE L'AIR, LORSQU'IL NAVIGUERA AU MILIEU DE L'ATMOSPHÈRE, OU POUR RÉSISTER AUX VENTS LORSQU'IL SERA CAPTIF OU A L'ANCRE.	Cette condition indispensable semble être le point le plus litigieux, et peut être l'écueil de la navigation aérienne. La pression doit être très-petite, et plus petite que $0^{m},002$ dans les grands aérostats.	Expérimenter l'aérostat cylindro-conique, armé des deux compresseurs que j'ai proposés. Rechercher les lois de la résistance de l'air par des expériences faites en vue de l'aérostation. La résistance de l'air augmentant la pression intérieure qui doit être très-petite, ne fera-t-elle pas crever le ballon? ou ne limitera-t-elle pas sa vitesse?
CINQUIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DOIT MONTER ET DESCENDRE SANS PERTES DE GAZ.	De tous les moyens proposés jusqu'à ce jour, aucun n'est parfaitement bon et suffisamment énergique; il faudra l'emploi simultané de plusieurs, savoir: l'adjonction d'un ballon à feu, les deux compresseurs, la corde traînante, les moyens mécaniques, hélices, roues à palettes, etc., et la variation de température atmosphérique.	Essayer l'adjonction d'un ballon à feu, les deux compresseurs et les moyens mécaniques, comme agents d'ascension et de descente, sans perte de gaz.

CONDITIONS A REMPLIR.	OBSERVATIONS.	RECHERCHES A FAIRE.
SIXIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DOIT ÊTRE POURVU D'UNE FORCE MOTRICE SUFFISANTE POUR QU'IL PUISSE NAVIGUER AU MOYEN D'AGENTS DE LOCOMOTION.	Nous avons démontré que l'adoption des machines à vapeur n'est pas impossible dans les grands aérostats.	Aussitôt qu'on construira des aérostats de grandes dimensions, il faudra tenter l'usage des machines à vapeur ou de toute autre source de force.
SEPTIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DOIT AVOIR UN GOUVERNAIL.	Il est probable qu'un poids mobile dans la longueur de l'aérostat réduira le rôle du gouvernail à une oscillation verticale, comme celui des bâtiments.	Faire l'essai du modèle proposé ou de tout autre.
HUITIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DEVRA N'AVOIR RIEN A CRAINDRE DES GRANDS VENTS LORSQU'IL SERA A L'ANCRE OU CAPTIF.	Cette condition est vitale en aérostation. Tout porte à croire qu'elle peut être remplie à l'aide de la sous-tendante.	Faire l'essai du modèle proposé ou de tout autre.
NEUVIÈME CONDITION. — L'AÉROSTAT DE GRANDES DIMENSIONS DOIT ÊTRE D'UNE CONSTRUCTION FACILE.	L'adoption des enveloppes peu flexibles nécessite que l'aérostat soit construit sans chiffonnage (une carcasse est impossible); la surface développable à l'état d'aplatissement permet la construction.	Essayer une construction d'aérostat cylindro-conique à l'état d'aplatissement.
DIXIÈME CONDITION. — LA NAVIGATION AÉRIENNE DOIT PRÉSENTER DES AVANTAGES SUR LES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORT USITÉS JUSQU'A PRÉSENT. EXEMPLES DE QUELQUES APPLICATIONS.	Les dangers ne seraient pas plus grands que sur mer, la vitesse serait celle des vents. Un lieu quelconque jouirait des avantages des ports de mer. Le chargement et le déchargement seraient très-faciles. Les applications à la guerre, à la science et au paragrêle sont pleines d'intérêt.	Essayer l'aérostat paragrêle.
ONZIÈME CONDITION. — INDIQUER L'ORDRE A SUIVRE DANS LES EXPÉRIENCES FUTURES, ET LES VOIES ET MOYENS POUR EN COUVRIR LES FRAIS.	Les expériences aérostatiques tentées dans le but de faire progresser la science, ne peuvent être entreprises que par les gouvernements ou une Société de riches capitalistes.	Construire un aérostat cylindro-conique en carton de 10 mètres de diamètre sur 40 mètres de longueur. Plus tard un autre de 20 mètres de diamètre sur 80 mètres de longueur, etc.

De tout ce qui précède nous nous croyons en droit de tirer les conclusions suivantes :

1°. Si la possibilité de la navigation aérienne n'est pas démontrée par l'expérience, son impossibilité ne l'est pas davantage par le calcul : cette impossibilité, ou plutôt la grande difficulté, viendra de la résistance de l'air (*voir* 4e condition) qui, agissant sur la pression intérieure, pourra faire crever le ballon lorsqu'il sera animé d'une certaine vitesse.

2°. L'aérostation n'est pas appelée à jouer un rôle utile, ni important dans le monde, si l'on ne parvient à trouver une enveloppe complétement imperméable au gaz et inaltérable à l'air, et si l'on ne peut adopter des dimensions énormes, de 100 mètres de diamètre par exemple.

3°. Une grande expérience serait nécessaire et vaudrait mieux que tous les calculs, pour trancher cette question d'une manière affirmative ou négative.

DEUXIÈME PARTIE.

CONSTRUCTION D'UN BALLON DE CUIVRE.

DEUXIÈME PARTIE.

CONSTRUCTION D'UN BALLON DE CUIVRE.

BUT DE L'EXPÉRIENCE.

Le but que je me suis proposé en entreprenant une expérience aussi dispendieuse, était :

1°. De trouver une enveloppe aérostatique complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz;

2°. De voir comment le métal, réduit à une très-petite épaisseur, se prêterait au rôle d'enveloppe d'aérostat;

3°. Si le succès couronnait l'entreprise, le ballon devait pouvoir servir aux ascensions scientifiques et devenir un aérostat paragrêle.

Quoique cette expérience n'ait pas réussi, je dirai ce qu'elle a appris, et les fautes qui ont été commises; et j'en ferai la critique avec d'autant plus de sincérité que, suivant moi, elle ne doit jamais être recommencée.

Avant-projet de construction d'un ballon de cuivre d'un rayon de 5 mètres.

Il était important de savoir s'il était possible de construire un ballon en cuivre très-mince, et d'étudier la manière dont se comporterait ce métal dans son emploi comme enveloppe d'aérostat : pour éviter les frais et les difficultés inhérentes aux formes allongées, je donnai la préférence à la forme sphérique, parce que sous la plus petite surface elle renferme la plus grande capacité, elle donne la plus grande force ascensionnelle, et qu'elle avait été d'ailleurs expérimentée nombre de fois.

Je donnai à la sphère un rayon de 5 mètres qui promettait une force ascensionnelle de 346 kilogrammes (1) et présentait la certitude, en cas d'erreur de calculs, que si le ballon n'enlevait pas deux personnes avec nacelle et filet (ensemble 300 kilogrammes), il pourrait au moins s'enlever nu, c'est-à-dire sans rien porter. Un plus grand rayon aurait entraîné dans des dépenses trop considérables en bâtiments, machines de construction, etc. Ces frais croissent comme le cube du rayon. D'autre part, un plus petit rayon aurait

(1) *Voir* page 27, $R = 5^m$.

trop restreint la force ascensionnelle. La forme sphérique avait cependant le grave inconvénient d'être une surface à double courbure et d'occasionner des plis cassants qu'une surface développable n'aurait pas donnés (1).

Conditions à remplir.

Avant de commencer ce ballon de cuivre, il était important de savoir comment on le remplirait de gaz. On ne pouvait employer le procédé ordinaire des ballons de soie, par lequel l'enveloppe est affaissée, aplatie, pour être ensuite remplie de gaz; car cet affaissement, ce chiffonnage de l'enveloppe seraient la ruine du cuivre.

Guyton de Morveau indique un autre procédé qu'il dit avoir expérimenté avec succès, et qui consiste à introduire, par l'orifice inférieur d'un ballon plein d'air A (*fig.* 23), un tube C montant presque au sommet opposé. Par ce tube on fait arriver un courant de gaz D, qui vient, en vertu de sa légèreté, se loger dans les parties supérieures du ballon et chasser l'air par un second orifice inférieur.

J'ai expérimenté (*voir* note II, § 2), avec un succès complet, ce procédé sur un petit ballon

(1) Je reconnus plus tard que si j'avais pris un cylindre terminé par deux cônes, j'aurais rencontré bien moins de difficulté et réalisé une grande économie dans le travail.

de baudruche A (*fig.* 23) de 1 mètre de diamètre et plein d'air. Je recevais l'air sortant dans un second petit ballon B qui était le quinzième de la capacité du premier; et, lorsque ce dernier eut été rempli quinze fois d'air sortant, je fus content de voir le premier s'enlever avec un certain poids. Je vidai l'appareil pour le remplir de gaz par le procédé ordinaire, et le ballon s'enleva avec le *même* poids. Le baromètre et le thermomètre, consultés dans les deux cas, n'ayant pas varié, on peut donc en conclure que le procédé de Guyton de Morveau donne le gaz aussi pur que le procédé ordinaire. Ainsi, pour satisfaire à ce mode de remplissage de gaz, le ballon devra être armé de deux orifices inférieurs; un tube en soie vernie, suspendu par une poulie à la calotte supérieure, restera à demeure dans l'intérieur du ballon, afin de pouvoir renouveler le gaz quand on le voudra. L'orifice supérieur, ou soupape, doit d'ailleurs exister pour servir comme dans les aérostats ordinaires.

Projet de construction.

Après avoir fait, pour essai, un petit ballon en cuivre de 1 mètre de diamètre, et m'être livré sur lui à différentes épreuves, voici ce que je décidai relativement au projet de construction du grand ballon : il fallait une carcasse de sphère en

bois (*fig.* 24) tournant sur son axe horizontal, et situé à 2 mètres au-dessus du sol; la partie inférieure de la sphère entrerait dans une cuvette sphérique en terre, dans laquelle un fuseau modelé en plâtre servirait à tailler le cuivre que l'ouvrier souderait à mesure que la sphère tournerait sur son axe. Le ballon fini, la carcasse serait démontée et sortie en détail pendant qu'on soufflerait, à l'intérieur, de l'air pour soutenir l'enveloppe; puis le ballon, ne renfermant plus que de l'air, reposerait sur la cuvette sphérique comme un œuf sur son coquetier : il serait soulevé, de là, à l'aide d'un filet, puis rempli de gaz par le procédé de Guyton de Morveau. Tel était le projet; voyons comment les choses se sont passées à l'exécution.

EXÉCUTION DU PROJET.

Dispositions préliminaires (janvier 1843).

Pendant que dans un terrain loué dans l'impasse du Maine, on me construisait hangar, bureaux, etc., le cuivre, en feuilles de 6 mètres de long sur $0^m,50$ de large, que j'avais fait venir de Prusse (*voir* 2e condition), fut examiné avec soin. Je reconnus qu'il fallait toucher ce cuivre le moins possible pour éviter la formation de

trous qui ne paraissaient déjà que trop nombreux; cependant une personne qui avait une grande habitude des métaux prétendit que ce cuivre ne pouvait être employé en cet état de roideur, et qu'il fallait le recuire pour lui donner une plus grande souplesse. Ce n'était pas mon avis; toutefois, comme je me connaissais peu en métaux, je crus devoir obtempérer à l'autorité de l'expérience. Cette opération fut très-malheureuse (1); car le zinc, qui entre pour un quart dans le cuivre laiton, et qui est beaucoup plus volatil que le cuivre, s'évapora dans certains endroits, en laissant beaucoup de trous nouveaux et en montrant par place le cuivre rouge, ce qui fit perdre le bel éclat du métal. Plus tard, ayant racheté du cuivre nouveau, je l'employai sans le recuire, et je lui reconnus en effet l'inconvénient d'être, par sa roideur, plus long à souder et plus cassant dans les mouvements de l'enveloppe (2). On passa toutes les feuilles à la chambre noire

(1) Cette recuite fut faite dans un tuyau de fonte chauffé fortement, et dans lequel on introduisait le cuivre en feuille roulée, qu'on retirait quand il était rouge, pour le laisser refroidir, ce qui (contrairement au fer qui se durcit, se trempe en pareil cas) le ramollit.

(2) Je sentis qu'il aurait fallu prendre du cuivre recuit en fabrique au sortir du laminoir et non gratté; car ce

pour en apercevoir les trous, que l'on eut soin de boucher avec de la soudure; elles furent ensuite nettoyées à l'acide, lavées à l'eau, essuyées dans de la sciure de bois et roulées pour attendre leur emploi (1).

Soudure.

Je fis quelques essais de soudure et je reconnus que, pour qu'une soudure fût bonne, il fallait que les deux bords fussent étamés et que l'étain y dominât (2). L'étamage des bords doit avoir lieu

---

grattage, dont nous avons déjà parlé (2e condition), écrouit le métal, le rend roide, cassant, et de plus inégal d'épaisseur. J'avais donc fait dans le choix de notre métal une première faute, qui eut des conséquences graves, comme nous le verrons plus loin. Je prévis si bien les désagréments que me donneraient les trous innombrables qu'il présenterait, que j'agitai la question du rejet de ce métal pour en racheter un autre; mais son prix déjà payé et la dépense d'un autre cuivre me rebutèrent. D'ailleurs la difficulté de se procurer promptement un métal tel que je le concevais (lequel ne se trouvait pas dans le commerce et n'aurait pu être laminé que sur commande) acheva de me faire passer outre.

(1) La recuite du cuivre, le passage des feuilles à la chambre noire, la fermeture des trous, le lavage des feuilles et une foule d'autres opérations très-longues et très-coûteuses auraient été évitées avec un bon cuivre souple et bien laminé.

(2) La soudure ordinaire est composée d'étain et de plomb.

peu de temps avant leur soudure; autrement celle-ci prend moins facilement.

Réparation d'un ballon de cuivre crevé et plein d'hydrogène.

Dans la prévoyance du cas où le ballon venant à crever, il faudrait le réparer étant plein d'hydrogène, je fis remplir de gaz un cylindre en cuivre, puis percer sur une longueur de $0^{m},10$; la feuille à rapporter, préalablement étamée, fut immédiatement soudée avec un fer légèrement chauffé au charbon, sans qu'il y eût détonation. Ce fer, chauffé au gaz (par le procédé Richemont-Desbassyns, qui est celui dont je me suis servi pour presque toutes les soudures) (1), pourrait donner

(1) Plus tard j'ai fait souder avec des fers chauffés au charbon, et la soudure était aussi bonne qu'avec des fers chauffés au gaz. L'avantage de la soudure au gaz réside dans la jonction du plomb sur plomb, du platine sur platine, à l'aide de l'or, etc.; car alors, dans le premier cas, la flamme fait fondre le plomb et dispense de la soudure (grande source d'abus), et dans le deuxième cas, l'or interposé entre les deux lèvres de platine fond subitement, ce qui ne pouvait, avant la soudure au gaz, s'obtenir que par des procédés longs et grossiers. Mais le cuivre se soude très-bien par l'ancienne méthode des fers chauffés au charbon. Il est à regretter que ce procédé, dont M. Richemont-Desbassyns est l'inventeur, soit un monopole entre les mains d'une seule

lieu à une détonation; tandis que chauffé au charbon, et seulement jusqu'à la fusion de l'étain, il est sans action sur le gaz, comme l'expérience l'a fait voir : mais, s'il devient incandescent, il y a détonation, comme le prouve le chalumeau, à mélange de gaz et d'hydrogène, que l'on approche d'un fer à peine rougi. Ainsi *un trou pourra se réparer sur le ballon, même plein d'hydrogène, pourvu qu'on se serve d'un fer*

---

personne. On sait en quoi il consiste : c'est un mélange d'hydrogène et d'air qui, conduit par un tuyau en caoutchouc, à travers le fer creux que l'ouvrier tient à la main, vient brûler à son extrémité et échauffer le morceau de cuivre qui est à cette extrémité et sert à souder. Il présente cet avantage, que la température du morceau de cuivre dont nous avons parlé est constante, tandis que celle des fers chauffés au charbon se refroidit sans cesse. Quand on veut souder à la flamme, on dévisse ce morceau de cuivre et l'on y substitue un bec à gaz : alors un jet de flamme d'une température très-grande, qu'on peut augmenter à volonté à l'aide d'un soufflet à air, vient échauffer très-promptement les parties à souder. Cet appareil, lorsqu'il tombera dans le domaine public, sera une véritable conquête faite dans l'art du soudeur. Il commence à se répandre dans la marine. Un de ses grands avantages est d'éviter les chances d'incendie; avec lui, des plombiers n'auraient pas mis le feu à la cathédrale de Chartres, comme cela a eu lieu il y a quelques années.

à souder, légèrement chauffé au charbon et ne dépassant pas la température de la fusion de l'étain; par précaution on pourra coller d'abord du papier sur l'ouverture, et souder ensuite.

Décapage du cuivre.

Pour décaper le cuivre, il faut employer l'acide avec précaution, car les gouttes que l'on n'a pas le soin d'essuyer, percent le cuivre.

Construction de la carcasse sphérique; soudure.

Lorsque le hangar qui devait servir d'abri fut terminé, je m'occupai de la construction de la carcasse sphérique. Voici le mode de charpente que j'adoptai : Un arbre en bois FG (*fig.* 24) de $10^m,70$ devait servir de diamètre; les $0^m,70$ étaient en dehors de la sphère, et, s'appuyant sur les supports, devaient en soutenir le poids; une des extrémités G était en fer (1), afin qu'à la sortie future de l'axe elle laissât un trou moins grand et plus facile à fermer. Les têtes A et C étaient en bois rapporté, le demi-cercle ADBHC était formé

(1) Je reconnus plus tard que cette extrémité G aurait pu être en bois comme l'extrémité F, ce qui aurait évité des frais inutiles.

de deux lames également en bois de $0^m,025$ d'épaisseur sur $0^m,38$ de largeur au centre chacune, et longues de $15^m,70$ (1); on les avait posées l'une sur l'autre à contre-fil du bois, pour que les défauts de l'une fussent soutenus par la force de l'autre; elles furent mouillées et courbées peu à peu, et fixées par des vis aux extrémités A, C. Comme le système de cette charpente était composé de quatre demi-cercles semblables à celui que représente la figure, on soutint d'abord les demi-cercles qui étaient horizontaux, à l'aide de supports provisoires; et lorsqu'on les eut ajustés sur place, on fixa par des vis leurs extrémités aux têtes A et C; ensuite on posa le demi-cercle inférieur qui reposait sur la terre, puis, au moyen d'un échafaud, le demi-cercle supérieur. ED et IH représentaient deux bras destinés à soutenir le demi-cercle en bois et à lui transmettre la rotation de l'axe: ils faisaient partie chacun d'un assemblage particulier (*fig.* 25) composé de quatre bras sur champ, embrassant l'axe et reliés ensemble par des écrous; les queues de chacun de ces bras étaient renforcées par des fils de fer destinés

(1) La circonférence $2\pi R = 10^m \times 3,14 = 31^m,41$; d'où la demi-circonférence est de $15^m,70$ (*voir* note X, expériences sur du bois).

à les empêcher d'éclater. Cet assemblage avait l'avantage de ne pas attaquer la force du bois de l'axe.

Pour empêcher le demi-cercle de s'aplatir en B, deux arbalétriers AB et BC venaient transmettre la charge du point B aux têtes A et C et forçaient ainsi l'axe à conserver sa rigidité. Un fil de fer BO maintenait aussi l'invariabilité du centre. Tous les assemblages étaient faits de manière à pouvoir être démontés en dedans pour la sortie future des bois.

Les quatre points analogues à B étaient reliés entre eux par des fils de fer qui s'opposaient à l'effet de la flexibilité des demi-cercles et les reliaient tous ensemble.

Enfin, un cercle équatorial, composé de deux demi-cercles semblables à ceux que nous venons de décrire, venait compléter la sphère. Les intervalles entre tous les demi-cercles furent occupés par deux parallèles et huit méridiens en bois très-léger destinés à supporter la surface métallique. Tout étant terminé, et les supports provisoires enlevés, la sphère fut mise en mouvement à la grande satisfaction des ouvriers : elle tournait par le seul effort du doigt. Pendant l'exécution de nos travaux, nous n'eûmes qu'à nous louer de cette machine, car elle remplit parfaitement le

rôle qui lui était destiné et sans donner lieu au moindre accident.

Un fuseau modèle, en plâtre, partant des deux extrémités de l'axe F et G, et descendant dans la fosse en terre, fut établi avec exactitude pour servir à tailler le métal. Pendant la construction du ballon, diverses méthodes furent employées pour la soudure; je les rapporterai avec leurs inconvénients.

Les feuilles de cuivre avaient 6 mètres de longueur sur $0^m,50$ de largeur; pour avoir moins de soudure et de perte de métal, je calculai la largeur de nos fuseaux à l'équateur, de manière que deux feuilles, A et B (*fig.* 26), jointes ensemble, devaient faire la largeur à peu près, c'est-à-dire 1 mètre environ. La circonférence de l'équateur, étant de $31^m,415$, détermina le nombre des fuseaux; il en fallait trente-quatre de $0^m,93$, qui produisent ensemble une circonférence de $31^m,62$.

Maintenant, voici les diverses méthodes de soudure que nous avons suivies :

1°. Pour le premier fuseau, les deux feuilles du milieu furent soudées ensemble, et les pointes C et D (*fig.* 26) rajoutées. On cloua ce fuseau à l'un des demi-cercles en bois qui l'entraîna au delà du fuseau modèle en plâtre, de manière à permettre de faire de même le fuseau suivant.

Pour souder ce second fuseau au premier, on rapprocha celui-ci en faisant mouvoir la sphère près des bords de celui-là, et les ouvriers marchant sur des paillassons placés sur le deuxième fuseau qui lui-même était sur le plâtre, étamèrent et soudèrent; mais ayant reconnu de nombreux trous qui provenaient de ce foulage du cuivre, au quatrième fuseau nous adoptâmes un autre procédé.

2°. Nous ne soudâmes d'abord qu'une des deux feuilles B (*fig.* 27) du milieu, de manière que la place de celle qui manquait permettait à l'ouvrier de marcher sur le plâtre au lieu de marcher sur le cuivre (1); lorsque ce fuseau incomplet fut soudé au précédent, on souda la feuille manquante.

3°. Dans ces deux méthodes, les ouvriers se plaignaient de la fatigue que leur causait la nécessité d'être toujours accroupis pour travailler : alors ils imaginèrent d'agrafer de distance en distance les deux fuseaux ensemble et de les ramener à l'horizon hors de terre, en faisant tourner la sphère; puis là, debout, ils faisaient avec beaucoup plus de facilité la soudure de jonction.

---

(1) Les pointes étant moins larges pouvaient être soudées sans être foulées.

4°. Plus tard ils taillèrent le fuseau sur le plâtre, et le roulèrent sur lui-même pour venir le dérouler à l'aide de points de repère, le long du fuseau à l'horizon, ce qui dispensa d'abord de faire faire un quart de circonférence à la sphère, et ensuite empêcha le cuivre de la calotte supérieure d'être fatigué par les angles rentrants qui ressortaient en descendant. A ce propos je dirai que nous fûmes obligés, pour soutenir les angles rentrants, de mettre des tringles de bois en croix dans les intervalles des parallèles et des méridiens.

L'étamage des bords du fuseau à l'horizon s'effectuait avec la plus grande facilité, par le moyen d'une planche sphérique de $0^{mq},20$, qu'un aide présentait en dedans pendant que l'étameur travaillait en dehors; elle servait aussi pour la soudure. La pointe du fuseau était préparée sur un établi à part et taillée sur le plâtre.

Une large ouverture sur l'un des pôles avait été laissée pour recevoir le jour d'une fenêtre voisine, de manière à éclairer jusqu'à la fin l'intérieur du ballon.

Papier à l'intérieur.

Pour assurer l'imperméabilité et boucher les trous qui ne pouvaient manquer de nous échapper, il était nécessaire de doubler à l'intérieur notre

enveloppe (1). Après m'être assuré (2) que le papier suivrait les infiniment petites dilatations du

(1) La matière de cette doublure intérieure devait pouvoir suivre la dilatation du métal provenant de la variation de température, et, de plus, jouir d'une certaine légèreté. Je pensai au bitume, qui obéit si merveilleusement aux températures atmosphériques, que cette propriété fait tout son mérite; entre autres essais, j'employai du bitume de Bastennes (département des Landes). Je le fis dissoudre dans de la térébenthine, puis l'appliquai sur une feuille de cuivre; mais lorsqu'elle fut exposée à une température de 28 degrés, cet enduit devint gluant, et par conséquent sans consistance pour boucher les trous. Je fus obligé d'y renoncer: frappé néanmoins de la belle couleur palissandre de cette dissolution, je l'ai appliquée sur des bois, et, au bout de trois ou quatre couches, elle acquérait une belle couleur brune glacée qui la rendrait précieuse en peinture, non-seulement à cause de la beauté de sa nuance, mais encore par sa qualité hydrofuge et sa bonne conservation à l'air aux températures ordinaires.

(2) Je fis suspendre à l'extérieur des rubans de cuivre de $0^m,01$ de large sur 10 mètres de long, et j'observai l'effet des variations de température. J'ai remarqué qu'une variation de 30 degrés ne donnait pas $0^m,01$ de différence dans la longueur du ruban de cuivre; tandis qu'un ruban de carton verni, composé de trois feuilles de papier, de même longueur et largeur que les rubans de cuivre, donnait des différences de longueur notables ($0^m,10$) provenant des variations hygrométriques; mais ce papier étant destiné à l'intérieur, où il devait être à l'abri de l'humidité atmosphérique, j'ai cru que, malgré cette sensibilité hygrométrique, il pourrait remplir mes intentions.

métal, je fis poser, à l'intérieur, une feuille de ce papier, qui fut de plus recouverte d'une couche d'huile grasse pour empêcher que l'humidité du gaz ne l'altérât. Lorsqu'un fuseau de cuivre était fini et soudé, et pendant qu'on préparait le suivant, on collait et peignait à l'huile le papier à l'intérieur du premier. Ce papier était très-fin : c'est celui qui sert dans le commerce à faire des fleurs et autres objets; je l'ai préféré en raison de sa légèreté et de sa résistance. Le poids de la doublure de la surface intérieure du ballon était de 6 kilogrammes pour le papier, et de 10 kilogrammes pour l'huile ; en tout, 16 kilogrammes. Cette doublure avait l'avantage d'être une soupape pour chaque trou.

Plus tard, c'est-à-dire lorsque le ballon fut entièrement clos, des ouvriers entrèrent dedans et collèrent une seconde couche de papier en faisant effectuer une révolution entière au globe à l'aide d'un poids de 200 kilogrammes, qu'on avançait dans la partie inférieure de l'équateur suivant les besoins du travail.

En ce qui concerne le collage du papier sur une enveloppe de métal, il y a deux choses à observer :

1°. Il ne faut pas, comme cela se pratique habituellement, enduire de colle le papier et l'appliquer; il faut, au contraire, enduire d'abord la

paroi qui doit recevoir le papier et appliquer ensuite ce dernier à l'état sec : car autrement, si le papier était humide, il s'étendrait lorsqu'on le colle ; et quand il serait sec, il deviendrait tellement tendu, que la moindre variation du métal provenant de la variation de température le ferait éclater. Tandis qu'en l'appliquant à l'état sec, il conserve sa dimension naturelle qui, par le faible allongement dont elle est susceptible, lui permet d'obéir aux variations du métal.

2°. *Quand un vase est destiné à supporter une certaine pression intérieure, l'épaisseur ou la résistance de son enveloppe doit être égale partout*, puisque la pression est égale en tous points (1).

---

(1) En conséquence, ceux qui ont proposé, pour les enveloppes aérostatiques, des renforts extérieurs, tels que des cercles en bois, des filets en corde ou en fer, etc., se sont gravement trompés. Sous ces renforts, l'enveloppe sera plus résistante à la vérité; mais à quoi bon si, à côté, dans l'intervalle des renforts, la pression la fait éclater ?

C'est aussi d'après ce principe que les tissus vernis sont impropres au service des aérostats, tels que nous les concevons. En effet, l'interstice des mailles du tissu est rempli par une petite vitre de vernis, qui ne peut avoir la même résistance que le fil et la trame qui forme la maille de ce tissu ; il n'y a donc pas homogénéité de force de résistance dans les fils de la maille et dans l'interstice des mailles : or la pression intérieure, dans son action, étant homogène partout, et une étoffe devant présenter, pour lui résister,

Ainsi, d'après ce principe, la force de résistance de l'enveloppe de cuivre doublée de papier, devant être égale à la force du cuivre augmentée de celle du papier, on devait s'attendre à ce que, là où se trouverait un trou dans le cuivre, la force de résistance de l'enveloppe se réduirait à celle du papier passant sur ce trou, c'est-à-dire qu'elle serait très-petite. Il n'y avait donc pas d'illusion à se faire sur la valeur de la force de résistance de cette enveloppe de cuivre doublée de papier; on pouvait compter qu'elle serait très-faible.

Suite et fin de la soudure.

Lorsque le dernier fuseau eut été posé, on le ramena à l'horizon ou à fleur de terre, et là on le souda au premier.

Il restait à fermer l'ouverture (1) laissée afin de donner du jour dans l'intérieur. Pour cela le premier fuseau étant ramené en bas, sur le plâtre,

---

une force homogène aussi partout, il en résulte que les tissus vernis, qui ne remplissent pas cette dernière condition, sont impropres au service aérostatique.

C'est encore d'après ce même principe que le carton, qui est une substance homogène, sans mailles et par conséquent sans les inconvénients des tissus vernis, présente de si belles chances d'imperméabilité.

(1) Cette ouverture n'était pas très-utile, on pouvait s'en passer.

et cette ouverture se trouvant dans l'hémisphère supérieur, près du pôle, on souda, dans cette position, la portion de surface manquante. Le ballon fut alors complétement fermé, sauf les ouvertures des deux pôles.

On employa deux mois à coller en dedans une seconde couche de papier, comme nous l'avons dit précédemment, et à fermer en dehors les trous apparents, en employant tantôt des gouttes de soudure, tantôt des petites pièces de cuivre rapportées.

Durant cette longue opération, nous fîmes les préparatifs nécessaires pour la sortie des bois de l'intérieur.

Il fallait pouvoir tenir le ballon gonflé d'air, pendant qu'on sortirait ces bois et après qu'ils seraient sortis. Mais de quelle machine soufflante devais-je me servir ? une pompe foulante aurait été trop dispendieuse. Le ventilateur semblait convenir par son bon marché et sa facilité de manœuvre. Étudions-le.

Du ventilateur.

Le ventilateur est une boîte en tôle ou en bois ABCDE (*fig.* 28), ouverte en CD et en NM, et dans laquelle tourne une roue à palette, reposant sur un support PQ. La rotation de la roue fait entrer l'air par l'ouverture MN et le chasse avec

violence par l'autre ouverture CD. On donne ordinairement à cette roue une vitesse de 800 tours à la minute, au moyen d'une courroie sans fin PRS, se harnachant sur l'axe de la roue P et autour d'une autre grande roue RS dont la dimension est calculée de manière à ce que le nombre de tours qu'effectue par minute la roue RS fasse opérer 800 tours à la roue P (1).

Quel est le poids qu'on peut soulever, ou plutôt quelle est la hauteur de la colonne de mercure du manomètre à air libre qu'on peut atteindre à l'aide du courant d'air sortant par l'ouverture CD et entrant dans une enceinte fermée? Tel était ce qu'il m'importait de savoir pour m'assurer que la pression intérieure donnée par l'insufflation du ventilateur serait capable de supporter le poids du ballon et de le maintenir gonflé.

---

(1) Le temps étant égal de part et d'autre, on a

$$800 \text{ circ. } P = \text{circ. } RS,$$

d'où

$$\text{circ. } RS : \text{circ. } P :: 800 : 1.$$

Les circonférences étant entre elles comme leur rayon, on aura

$$\text{rayon de } RS : \text{rayon de } P :: 800 : 1;$$

d'où

$$\text{rayon de } RS = \text{rayon de } P . 800.$$

Les praticiens consultés répondent que le ventilateur ne peut soulever plus de $0^m,01$ de mercure, quelle que soit la vitesse donnée à la roue; qu'au delà d'une certaine vitesse l'air n'entre plus suffisamment par les ouvertures M, N, et que la force du courant cesse d'augmenter.

J'ai fait ajuster un ventilateur semblable à celui que représente la *fig.* 28; j'ai fermé l'ouverture CD en n'y laissant passer que le tube d'un manomètre; j'ai fait donner une grande vitesse à la roue, et le mercure n'a jamais pu monter au delà de $0^m,002$. Cette force du courant d'air était-elle capable de soutenir le poids de notre enveloppe?

Le poids de cette enveloppe, à raison de 1 kilogramme présumé par mètre carré, devait être, pour l'ensemble de l'appareil, de 314 kilogrammes (314 mètres carrés étant la surface d'une sphère de R = 5 mètres, qui est le rayon de notre ballon). Mais nous supposerons, pour plus de sûreté, que ce soit 400 kilogrammes; et sans tenir compte de ce qu'un sixième de ce poids sera supporté par les parois de la cuvette en terre sur laquelle le ballon reposera lorsqu'il sera débarrassé de ses bois intérieurs, nous admettrons qu'il faille lutter avec le ventilateur contre le poids de 400 kilogrammes ou contre une pression de $\frac{400}{314} = 1^k,2$

par mètre carré, ce qui correspond au manomètre à une hauteur de mercure de $0^m,00008$ (1).

Or on voit que le ventilateur sera bien capable de vaincre cette pression, puisqu'il soulève $0^m,002$ de mercure.

Rassuré sur l'efficacité ou l'énergie du ventilateur, je le fis installer dans le hangar avec la grande roue, et je fis fabriquer un long tuyau en toile de coton, collé à l'intérieur d'une feuille de papier sur laquelle fut appliquée une couche de vernis à l'huile (2); ce tuyau devait mettre en communication l'ouverture CD avec l'ouverture du ballon dont nous allons nous occuper.

Des deux fermetures provisoires du ballon.

Comme nous l'avons vu, aux deux extrémités de l'axe horizontal j'avais laissé deux ouvertures: l'une, correspondante au pôle inférieur lorsque le ballon aurait sa position normale, devait servir à l'extraction des bois et avait $1^m,50$ de dia-

---

(1) On a

$$10325^k : 0^m,76 :: 1^k,2 : x; \quad \text{d'où} \quad x = 0^m,00008.$$

(2) On fait ainsi pour la conduite de l'air une étoffe complétement imperméable et à très-bon marché, dont nous n'avons eu qu'à nous louer pendant le cours de nos travaux. Cette étoffe pourrait être imperméable à l'eau en mettant le papier verni à l'extérieur.

mètre; l'autre, correspondante au pôle supérieur, n'avait que $0^m,05$ et servait seulement au passage du bout en fer de l'axe. Il fallait, avant d'appliquer les fermetures définitives, que les bois fussent retirés, l'axe sorti, et que pendant cette première opération, ainsi que pendant la deuxième, le ballon fût fermé et gonflé; il était donc nécessaire d'avoir deux fermetures provisoires qui permissent d'exécuter ces diverses opérations, ce qui eût été impossible avec les fermetures définitives.

De la grande fermeture provisoire (fig. 29). — Elle devait avoir deux ouvertures : l'une, large, était destinée à l'extraction des bois; l'autre, moins large, devait recevoir le tuyau du ventilateur et avoir son diamètre. Je pris donc une lame de bois de hêtre de $0^m,07$ de large, et la courbai de manière à former un cercle de $1^m,50$ de diamètre; je l'attachai à l'aide de pièces de cuivre soudées sur le ballon et clouées sur le bois. Sur ce cercle ainsi fixé ABCD je mis un petit rebord extérieur en bois pour former une gorge qui devait retenir une corde I enroulée autour; cette corde maintenait une toile imperméable AEB en coton (de même nature que la toile du tuyau du ventilateur dont j'ai parlé précédemment), qui, par son étranglement à l'aide d'une ligature E, fermait le ballon.

Une autre lame de bois fut courbée en cercle

d'un diamètre égal à celui du tuyau du ventilateur. Ce cercle fut introduit dans l'extrémité de ce tuyau, et le tout enfoncé intérieurement dans une manche F d'un diamètre un peu plus grand; puis, à l'aide d'une ficelle, on serra sur le cercle la manche et le tuyau, qui formèrent ainsi une communication entre le ventilateur et le sac de toile imperméable. L'ouverture E étant fermée et le ventilateur fonctionnant, le ballon était gonflé. Je n'ai eu qu'à me louer de cette disposition, qui m'a servi jour et nuit pendant plus d'un mois.

Quand je voulais juger de l'imperméabilité du ballon, après la sortie des bois, j'étranglais en G, à l'aide d'une corde, le tuyau du ventilateur : alors, le ballon étant fermé, j'observais de combien il baissait pour un temps donné.

De la petite ouverture provisoire (fig. 30). — A l'autre extrémité C de l'axe, correspondante au pôle supérieur lorsque le ballon serait dans sa position normale, et à l'intérieur de la surface AB du ballon, je fis coller à la colle forte une calotte en toile de coton, terminée par un fourreau enveloppant le fer de l'axe. L'étranglement en D de ce fourreau fermait le ballon, et permettait de faire rentrer le fer de l'axe lorsqu'on voudrait le retirer, sans que la clôture cessât d'avoir lieu.

Cette disposition ne nous a pas servi; la toile fut déchirée par un accident, et je renonçai d'ailleurs au gonflement du ballon pendant l'extraction des bois, comme nous le verrons plus tard.

De l'extraction des bois.

L'extraction des bois, quoique résolue en théorie, était en pratique d'une difficulté extrême, et j'avoue que je l'abordai avec un très-faible espoir de succès, mais avec la ferme résolution de faire tous mes efforts pour surmonter les obstacles. On verra plus loin que ces efforts ne furent pas vains.

Rappelons ce que nous avons avancé (projet de construction), c'est-à-dire que la carcasse serait démontée et sortie en détail pendant qu'on soufflerait de l'air à l'intérieur pour soutenir l'enveloppe.

Cette insufflation d'air devait gêner considérablement la sortie, déjà si pénible, des bois, et je résolus de n'en faire usage qu'à la dernière extrémité. Voici comment les choses se passèrent: Après avoir consolidé la stabilité de l'appareil par un poids de 300 kilogrammes mis en B′ (*fig.* 24) à l'intérieur, les deux demi-cercles AB″C et AB‴C furent sciés aux points B‴ et B″, et à leurs extrémités, puis évacués par l'ouverture NM. Le cuivre de la calotte supérieure, qui n'était plus sou-

tenu par ces deux demi-cercles, se rapprocha légèrement de l'axe sans avarie; tandis que le métal de la calotte inférieure tombait, naturellement entraîné par son propre poids, sur les parois de la cuvette en terre. Les deux arcs-boutants AB‴C et AB″C arrêtèrent le rapprochement du cuivre.

Voyant que le métal se conduisait sagement, je résolus de démolir et évacuer tout ce qui ne dérangerait pas les trois supports B, B″, B‴, non plus que le demi-cercle supérieur ADBHC. En conséquence, les quatre bras HH′, les demi-arcs-boutants B‴C, B″C, B′C, BC et les quatre méridiens de la calotte inférieure furent sortis.

Jusque-là le ballon n'avait pas subi d'altération notable dans sa forme; mais, pénétré des difficultés qu'il y aurait à sortir les bois si l'ouverture NM était fermée par sa toile pour l'insufflation de l'air, je résolus d'éviter cette opération en laissant le métal s'affaisser sur lui-même et contre le plan méridien vertical ADBHCH′B′D′, et en ne réservant que le demi-cercle supérieur ADBHC pour supporter tout le poids de l'enveloppe : en conséquence, au point B fut liée une corde qui, traversant le cuivre, alla s'attacher au crochet d'une moufle suspendue à une poutre supérieure, et qui tînt le demi-cercle ADBHC

suspendu à l'extérieur; alors je fis démolir et évacuer successivement les demi-arcs-boutants AB‴, AB″, AB, AB′, ainsi que les quatre bras DD′. Le cuivre s'aplatit à tel point, contre le plan vertical, qu'un homme passant sur l'axe AC était obligé de l'écarter. Dans la cuvette il faisait des plis inquiétants et d'un triste augure.

Pour la sortie de l'axe AC, deux moufles furent suspendues en B (*fig.* 31) et liées aux points x et y. Leurs cordages sortaient par l'ouverture MN et se tiraient du dehors. On commença par soulever l'axe en roidissant la moufle Bx; puis, en roidissant la moufle By, la tête A sortit par l'ouverture MN. On continua ainsi jusqu'à ce que l'axe fût en équilibre sur son support F (*fig.* 24); alors on n'eut plus qu'à le tirer de l'extérieur.

Huit jours avaient été employés aux opérations précédentes, un mois fut consacré à fermer tous les trous visibles et à portée de l'ouvrier dans la nouvelle position de l'enveloppe, puis à souder la soupape supérieure définitive qui était alors en C à fleur de terre; ensuite je fis sortir le dernier demi-cercle ADBHC qui soutenait l'enveloppe et qui était lui-même suspendu par une moufle extérieure. Pour cela, il fallait gonfler le ballon et le faire sortir de l'état d'affaissement où il était. Le ventilateur fut donc mis en mouve-

ment, et peu à peu nous vîmes disparaître tous ces plis qui avaient l'air si roides et si cassants; le ballon se gonfla, et bientôt, au bout de vingt-cinq minutes, il avait atteint sa complète rotondité, à la grande joie des assistants qui avaient désespéré de le voir jamais sortir d'un pareil état de détresse.

Alors un ouvrier soutenu par la moufle supérieure en B (*fig.* 32) changea la suspension du demi-cercle ADBHC, en attachant en B une longue corde BR dont l'autre extrémité passait par-dessus la poutre PQ. Il roidit cette corde jusqu'à ce que la moufle devînt lâche et indiquât par là que le poids du demi-cercle était suspendu à la corde BR. On laissa couler cette corde, et le demi-cercle descendit dans l'intérieur où des ouvriers le dirigeaient; bientôt, après avoir scié l'extrémité AD, ils purent saisir ce demi-cercle à l'embouchure NM (*fig.* 24) et le tirer à l'extérieur en tenant toujours le sac en toile pressé sur lui pour empêcher le dégonflement du ballon; mais pendant cette opération, l'enveloppe que supportait l'air insufflé par le ventilateur, tourna un peu sur elle-même, entraînée par un côté plus lourd que l'autre, et la corde BR (*fig.* 32), qui était fixe, déchira le cuivre sur une longueur d'un mètre. L'ouvrier, préposé en B, jetait des cris

de détresse pour annoncer cette énorme voie d'air; le ballon s'affaissant à vue d'œil, le nombre des hommes au ventilateur fut doublé pour essayer de dominer la voie d'air. Le ventilateur ronflait en faisant 800 tours par minute; mais c'était en vain: le ballon s'affaissait toujours de plus en plus, et nous voyions déjà le moment où il serait complétement aplati, et par conséquent ruiné, sans espoir de le relever, lorsque j'eus l'idée de faire mettre une feuille de carton sur la voie d'air : à l'instant les lèvres entr'ouvertes se rapprochèrent, l'ouverture fut considérablement diminuée, le ventilateur put dominer la perte d'air, et le ballon, qui avait baissé de 3 mètres à sa partie supérieure, remonta bientôt à sa hauteur primitive. On colla des feuilles de papier sur l'ouverture, en attendant qu'on y soudât une feuille de cuivre, ce qui fut fait le soir même. C'est ainsi que l'appareil échappa au plus grand danger qu'il eût encore couru.

A dater de ce moment le ventilateur fonctionna sans relâche pour tenir le ballon gonflé et supporté dans sa cuvette de terre.

Du renversement du ballon.

Après avoir consacré deux ou trois semaines à fermer, avec le papier ou la soudure, les nom-

breuses fuites d'air qui existaient, il fallut songer à renverser l'appareil, de manière que l'axe AC (*fig.* 24), au lieu d'être horizontal, devînt vertical afin que l'ouverture MN se trouvât en bas et fût disposée pour le mode de remplissage dont nous avons parlé. J'employai le moyen assez grossier qui va suivre : Je fis placer en forme de parallèle, autour du ballon, deux cordes DD′ et HH′ (*fig.* 33), reliées entre elles par d'autres cordes en forme de méridien AGKC, ALIC, ADBHC. Au point B de cette dernière je fis engager le crochet de la moufle qui, tirée en P, souleva le ballon à 1 mètre de terre. Alors une corde ADB′H′C fut passée en dessous, et une nouvelle moufle CY, tirée du point S, souleva la tête C en faisant glisser le crochet B le long de la corde ADBHC : le renversement était donc commencé et l'appareil avait alors la forme indiquée sur la *fig.* 34; les cordes DD′, HH′ étaient enfoncées dans le métal comme dans un édredon. En continuant d'agir sur la moufle CY, le renversement se continua jusqu'à ce que le crochet B fût arrivé en H, où l'on fit passer le nœud en remplaçant provisoirement la suspension BX par une corde qui permit de décrocher et raccrocher B de l'autre côté de ce nœud. On continua de même jusqu'à ce que ce crochet B fût arrivé en C; alors le renversement était achevé et l'appareil avait la forme indiquée

sur la *fig.* 35. Pendant toute cette opération, le ventilateur n'avait cessé de souffler.

Mais, en cette position, le ballon n'avait plus la forme sphérique, et le cuivre souffrait beaucoup dans les plis occasionnés par les cordes; il était urgent de le suspendre dans un filet. Je fis donc passer en dessous un filet sphérique d'un ballon de même dimension, qu'à l'aide de deux moufles je fis monter et tendre jusqu'à ce que la suspension BX (*fig.* 36) devînt lâche : alors le ballon était suspendu dans ce filet.

Je fis procéder ensuite à la suspension du filet par dix cordes au lieu de deux, afin qu'il fût moins fatigué. Je fis remonter le ballon à 2 mètres de terre, le débarrassai des cordes qui l'étranglaient, et l'appareil avait la forme qu'on lui voit représentée sur la *fig.* 37. Je reconnus que la variation de l'intensité du soufflage faisait varier continuellement la hauteur du pôle supérieur et fatiguait le cuivre. Pour éviter cet inconvénient je fis suspendre ce pôle à des cordes attachées aux poutres supérieures; c'est ce que l'on voit exécuté dans la *fig.* 38.

Dernier calfeutrage du ballon.

Pendant que le ballon était exposé au public (*fig.* 38), les ouvriers s'occupèrent à boucher, à l'aide de petites feuilles de cuivre rapportées et

soudées, tous les trous qu'on pouvait apercevoir; il y en avait un nombre considérable provenant de l'affaissement du ballon pendant l'extraction des bois. Comme cette opération traînait en longueur et donnait lieu à des frais considérables, par le nombre d'ouvriers à employer et par la nécessité de souffler jour et nuit le ballon pour le tenir plein, je résolus de boucher tous les trous à l'aide de mouches en calicot, mises en double, collées à la colle de pâte et vernies quand elles étaient sèches. Après un mois d'un pareil travail, pendant lequel on posa près de trois ou quatre mille de ces mouches, le ballon fut jugé en état d'être rempli, d'autant plus que j'avais remarqué qu'il se formait de nouveaux trous provenant de l'inégalité du soufflage qui faisait varier à chaque instant la tension du ballon : on ne devait donc rien gagner à attendre; enfin, le 2 juin 1844 fut fixé pour le jour du remplissage et de l'ascension, s'il y avait lieu.

L'appareil pour le gaz avait été préparé dans la cour depuis deux mois. Donnons quelques détails à ce sujet.

Appareil pour la production du gaz.

La capacité du ballon était de $523^{mc},6$.

On devait supposer que pendant la fabrication

du gaz, et dans le ballon, il s'échapperait de l'hydrogène; il fallait donc compter sur 750 mètres cubes environ de gaz à produire.

En désignant par V le volume de gaz à obtenir, nous avons vu (1re condition) que les proportions étaient :

V.3 pour le poids du zinc en kilogrammes;
V.5 pour le poids de l'acide sulfurique ;
V.30 pour le poids de l'eau.

En remplaçant V par 750, on a :

2250 pour le poids du zinc en kilogrammes, qui ont coûté, à 50 francs les 100 kilogrammes.....	1125f 00c
3750 pour le poids de l'acide sulfurique (1) en kilogrammes, qui ont coûté, à 14f 50c le kilogramme.....	542.75
22500 pour le poids de l'eau.	
Quarante-cinq tonneaux furent destinés à produire le gaz (deux furent coupés pour servir de gazomètre et de vase à eau et à terre glaise; un fut rempli d'eau en cas d'accidents de brûlure par l'acide, et quarante-deux furent disposés pour la production du gaz).....	430.00
A reporter.....	2097f 75c

(1) Il en a été employé effectivement 4124 kilogrammes; car la production du gaz s'étant arrêtée, on a forcé la proportion d'acide.

Report.....	2097f 75c
Trois cuves, dont une fut prêtée et les deux autres achetées, furent destinées aux gazomètres.....	105.00
La ferblanterie nécessaire aux tuyaux de conduite fut empruntée en partie et coûte environ.	100.00
Expliquons comment était disposé l'ensemble des tonneaux et des cuves (*fig.* 39).	
Deux batteries de quinze tonneaux envoyaient leur gaz dans un gazomètre commun A; une batterie de réserve B envoyait le sien dans le gazomètre C, d'où il passait dans le gazomètre A. Le gaz sortait de A pour entrer dans une boîte en zinc E, contenant de la chaux, et passait de là dans le ballon par un tuyau en toile de coton imperméable.	
Les tonneaux étaient disposés par trois dont deux communiquaient au troisième, d'où le gaz était conduit dans le gazomètre (1).	
De la glace était dans chaque gazomètre, pour condenser le gaz et lui faire perdre son humidité.....	30.00
Total.....	2332f 75c

Tel est le prix de revient de 750 mètres cubes de gaz. C'est 3 francs environ par mètre cube; encore

(1) Cette disposition d'appareil est celle qui est adoptée ordinairement; mais elle est très-défectueuse. Combien ne serait-il pas plus avantageux d'avoir une seule grande

n'ai-je pas compté les ouvriers nécessaires à la manutention, pour compenser ce que l'on pourrait retirer de la vente des tonneaux, cuves, etc., après l'opération. Ce prix de 3 francs pour un mètre cube de gaz est exorbitant, et il sera utile, dans l'avenir, de chercher à l'atténuer en trouvant un emploi au-sulfate de zinc.

Pour être sûr que les tuyaux G et F fourniraient le gaz en quantité suffisante et que le remplissage se ferait en deux heures, j'avais attribué à ces tuyaux un diamètre égal à celui qui servait à insuffler l'air au ballon avec le ventilateur, lequel avait donné les résultats suivants, lors du gonflement du ballon après la sortie de la charpente intérieure :

A la roue.		Au manomètre à eau.	Temps du gonflement du ballon.	Section du tuyau d'air.
4 hommes	ou	$0^{m},026$	25'	$0^{mq},045$

Pour être plus sûr d'avoir un écoulement suffisant, je donnai aux tuyaux G et F $0^{m},30$ de diamètre.

Quant à la pression dans l'intérieur de l'appareil, elle était dans les tonneaux égale à la somme des colonnes d'eau existant dans les gazomètres C

---

cuve doublée de plomb, au lieu de ces quarante-deux tonneaux présentant une surface considérable et favorable aux fuites? *Voir* page 20 ce que nous avons dit à ce sujet.

et A, ou D et A au-dessus de l'orifice des tuyaux conducteurs du gaz. En admettant qu'un tonneau puisse supporter une pression d'une colonne d'eau au moins égale à sa hauteur, lorsqu'il est sur son fond, on est certain que les fonds de ces tonneaux ne partiront pas tant que la somme des colonnes d'eau des deux gazomètres sera plus petite que cette hauteur.

Je disposai donc les niveaux des orifices des tuyaux de manière à pouvoir obtenir la pression de $0^m,026$ donnée par le ventilateur avec quatre hommes, et j'étais sûr que cette pression ne ferait pas éclater les tonneaux, puisqu'ils étaient en état de supporter une colonne d'eau au moins égale à leur hauteur, qui était de plus de 1 mètre.

Je disposai un coude A (*fig.* 40) en fer-blanc, de même diamètre que les tuyaux de toile, pour rattacher le tuyau F au tuyau K, suspendu dans l'intérieur du ballon à l'aide d'une poulie et d'une corde qui redescendait dans l'intérieur de ce tuyau, afin de l'avoir à ma disposition en dehors du ballon, et de pouvoir tendre ce tuyau K à volonté. Pour être sûr de l'effet de ce tuyau K, je mis celui du ventilateur sur le coude A, et le ballon fut insufflé d'air comme il devait l'être de gaz, par le haut au lieu de l'être par le bas. Cependant je m'aperçus que le ballon ayant cessé d'être tendu

aussi fortement qu'auparavant, la calotte G était redescendue, que le tuyau K s'était replié sur lui-même, et que la conduite d'air étant étranglée, le ballon s'affaissait de plus en plus. Je fus obligé de souffler par l'ancienne méthode pour rétablir le complet gonflement du ballon : alors, pour éviter cet inconvénient pendant l'arrivée du gaz, je tendis davantage le tuyau K en tirant la corde qui le soutenait et en suspendant la calotte G à une poutre supérieure; je remis le tuyau du ventilateur sur le coude A, et les choses marchèrent convenablement, c'est-à-dire que l'air qui gonflait le ballon suivait le chemin que devait parcourir le gaz en montant à la partie supérieure; il ne s'agissait plus que d'avoir un courant de gaz égal à celui de l'air, ce qu'il était facile d'obtenir en activant plus ou moins la production.

Je fus obligé de changer le sac inférieur sur lequel s'adaptait le tuyau d'air du ventilateur; il servait depuis quatre mois et il était usé. Je le remplaçai par un neuf, que je disposai autour du cercle NN′ (*fig.* 40 *bis*) en bois, par-dessus l'ancien; j'arrêtai un instant le soufflage pour remettre le tuyau du ventilateur sur la nouvelle manche P, et je liai l'extrémité inférieure M. Pour empêcher l'étranglement de K, il y avait un anneau B en bois, sur lequel était ficelé le sac et le

tuyau K, de sorte qu'en liant en M, l'orifice inférieur se trouvait fermé. Pour remettre le tuyau du ventilateur sur le coude A, je liai P et je déliai M. Un ouvrier, à l'intérieur, découpa l'ancien sac et le sortit, avant la pose du tuyau K et du coude A. Cet ouvrier monté, pour cela, sur une chaise reposant sur le sol de la cuvette en terre, avait une moitié du corps en dehors et l'autre moitié en dedans du ballon, ainsi que le sac neuf ficelé autour de la ceinture, afin de pouvoir découper à l'intérieur le sac vieux pendant que le ventilateur soufflait par la manche P, et maintenait le gonflement du ballon.

Remplissage du ballon.

La personne que j'avais chargée de la production du gaz, et qui était experte en cette matière, jugea à propos, comme c'était l'habitude dans le remplissage des ballons ordinaires, de laisser perdre la première production de l'hydrogène afin de chasser l'air de l'appareil producteur. Pour que cette précaution fût bonne, il aurait fallu mettre en train tous les tonneaux à la fois; car autrement, l'air étant chassé d'une première batterie, le gaz qu'elle aurait fourni se fût trouvé mélangé à l'air de la seconde. C'est ce qu'on ne fit pas, et par conséquent ce qui rendit

cette précaution non-seulement illusoire, mais encore désastreuse pour l'expérience; car il arriva que beaucoup d'hydrogène fut dépensé par cette perte volontaire; de plus, la batterie C, par une pression mal réglée, laissa perdre encore une certaine quantité d'hydrogène qui s'échappait du gazomètre; enfin il en résulta que, par ces pertes et celles provenant des fuites qui ne pouvaient manquer d'exister dans le ballon et dans l'appareil, le gaz cessa d'arriver lorsque le ballon était plein aux trois quarts, et l'expérience fut manquée.

Il est bien regrettable que cet accident soit survenu, car les choses se passaient comme je l'avais prévu et annoncé : le gaz débouchait par la partie supérieure dans le ballon, l'air sortait tellement pur par l'orifice inférieur P, qu'on pouvait y mettre la tête et y rester un quart d'heure sans être aucunement incommodé, ni sentir la moindre odeur d'hydrogène. Quand le ballon était plein aux trois quarts, l'hémisphère supérieur paraissait parfaitement sphérique, ce qui prouvait la force ascensionnelle du gaz, tandis que l'hémisphère inférieur était tuyauté et flasque.

Il n'y a pas à douter que si, l'on eût évité ces pertes de gaz, ou si l'appareil producteur eût été disposé pour en produire davantage, le ballon

n'eût été mis à flot (1); le filet inférieur qui le portait aurait été coupé: on l'aurait conduit, à l'aide du filet supérieur dont il était coiffé, hors du hangar, et là il devait recevoir sa nacelle et s'enlever.

Pour calculer la force ascensionnelle du ballon à terre, j'avais fait usage de la formule de la note IV (de l'aérostation sans pression intérieure)

$$F = 523^{mc},6 \frac{h}{0,76} \left(\frac{1^k,21}{1 + 0,00375n} \right) - M.$$

M se composait du poids du ballon nu (2)				432^k
»	»	de l'aéronaute	72^k	121^k
»	»	du filet supérieur	19^k	
»	»	de la nacelle	19^k	
»	»	du cercle en bois	4^k	
»	»	du coussin, ancre, cordes	7^k	
		Total		553^k

(1) La possibilité de l'ascension d'un ballon métallique n'est pas douteuse. Pour s'en assurer, il suffit d'aller voir le gazomètre de la rue du Faubourg-Poissonnière, qui a 33 mètres de diamètre sur 8 mètres de hauteur, et que l'on est obligé de charger de poids pour l'empêcher de s'enlever.

(2) Pour avoir le poids du ballon nu, j'avais tenu une note très-exacte du poids de tout ce qui était entré dans sa construction, tel que cuivre, soudure, papier, etc.; de sorte que, s'il y avait erreur dans le poids ainsi calculé de l'aérostat, cette erreur devait être plutôt en plus qu'en moins, car il était peu probable que les marchands se fussent trompés en moins dans le poids de ce qu'ils m'avaient fourni.

En supposant des donnéés probables à terre

$$h = 0^m,76 \quad \text{et} \quad n = 15^\circ,$$

et remplaçant M par 553 kilogrammes, sa valeur, on avait pour la force ascensionnelle à terre,

$$F = 523,6 \,.\, 1^k,14 - 553^k = 43^k,$$

qui représentait à peu près le poids du lest à emporter.

Il est certain que le ballon se serait enlevé (si le gaz n'eût pas manqué) malgré les fuites qui existaient à sa surface; car, relativement à ces dernières, je pensais que l'aérostat étant plein et partant de suite, ces fuites auraient dispensé d'ouvrir la soupape et auraient donné issue au gaz qui doit toujours sortir pendant l'ascension d'un ballon partant plein, afin d'éviter la pression intérieure. Pour revenir à terre, ainsi que pour modérer une descente trop accélérée, l'aéronaute aurait fait usage de son lest.

L'ascension, suivant moi, n'aurait rien appris d'important. On avait vu la manière dont se comportait le cuivre pendant les cinq mois que le ballon était resté plein d'air; il se serait comporté de même étant plein de gaz. On avait vu que les soudures, dont quelques personnes niaient la solidité, résistaient très-bien, qu'au-

cune n'avait manqué; par conséquent, l'ascension aurait montré seulement qu'un ballon de cuivre pouvait s'enlever, chose que l'on savait par le calcul ci-dessus (1).

---

(1) C'est une des raisons qui m'ont déterminé à ne pas recommencer une nouvelle expérience de remplissage, comme me le conseillaient quelques personnes. Les autres raisons étaient : 1° que le cuivre avait été très-fatigué pendant ce remplissage, et qu'il eût fallu passer beaucoup de temps pour le remettre en état, sans certitude de succès; 2° qu'il eût fallu aussi recommencer les dépenses d'une nouvelle fabrication de gaz, le tout montant à 3000 fr. environ. Or, comme j'avais déjà dépensé 25000 fr., j'étais peu tenté d'aller plus loin, surtout sans espoir de succès certain.

Mais ne pouvait-on pas enlever par l'air chaud ce ballon de cuivre pesant nu 432 kilogrammes? Non, lors même qu'on aurait pu porter à 100 degrés la température de cet air chaud.

En effet, on a

$$F = 523^{mc},6\,(d - d') - 432^{k}.$$

Or à 0 degré, la densité de l'air étant 1, le mètre cube d'air pèse $1^{k},3 = d$; et à 100 degrés, la densité étant 0,72 (*), le mètre cube pèse $0^{k},936 = d'$ (**); d'où

$$d - d' = 0^{k},364 \text{ et } F = 523,6 \,.\, 0^{k},364 - 432^{k} = -241^{k},41,$$

quantité négative; c'est-à-dire qu'il eût fallu que le ballon pesât $241^{k},41$ de moins, pour qu'il y eût seulement équilibre.

(*) *Voir* page 13.

(**) Car on a $1 : 0,72 :: 1^{k},3 : x$; d'où $x = 0^{k},936$.

Prix de cette expérience.

Pour l'instruction de ceux qui seraient tentés de faire de semblables expériences, je vais donner un résumé des dépenses qu'a nécessitées celle-ci :

Location d'un terrain avec hangar, bureaux, construits exprès, pour trois ans.....	7800f 00c
Achat du cuivre	1631.00
Fabrication du gaz	2332.75
Journées d'ouvriers, expériences diverses pendant quinze mois.....	13237.00
	25000f 75c

CRITIQUE DE CETTE EXPÉRIENCE.

Fautes qui auraient pu être évitées.

1°. Le choix du cuivre aurait pu être meilleur. En me pressant moins, j'aurais pu obtenir des fabriques françaises du cuivre recuit et en feuilles aussi longues que celles que j'avais achetées. Le cuivre rouge aurait certainement mieux convenu; mais il est beaucoup plus cher que le cuivre laiton.

Ce qui m'a décidé à faire venir ce cuivre d'Allemagne, c'est que à cette époque les fabriques françaises n'étaient pas outillées pour la fabrication de feuilles de 6 mètres de long et 0m,50 de large.

2°. La forme sphérique a entraîné dans de grandes dépenses; savoir : la construction d'une

carcasse en bois, sa sortie de l'intérieur du ballon, et la nécessité de souffler jour et nuit pendant cinq mois, pour tenir l'appareil gonflé; tandis que la forme cylindro-conique aurait permis de construire l'appareil à l'état d'aplatissement, comme je l'ai expliqué (9e condition).

3°. On eût dû se munir d'une plus grande quantité de gaz pour parer aux pertes inévitables; au lieu de 750 mètres cubes, il en eût fallu de 1 000 à 1 200.

Résultats de l'expérience.

Il a été démontré par l'expérience précédente que la construction d'un aérostat métallique en cuivre et son remplissage de gaz étaient deux choses possibles (1); mais aussi qu'il fallait, pour qu'une enveloppe aérostatique réunît les qualités nécessaires, qu'elle fût composée de plusieurs

(1) Un auteur anglais déjà cité se moque agréablement des *french projectors* qui veulent employer le cuivre dans la construction des ballons: « Je désirerais seulement savoir, » lorsqu'il sera fait (le ballon de cuivre), comment on le » remplira, et lorsqu'il sera rempli, comment on le videra, » car il ne faut pas oublier qu'avant de le remplir, il faudra » qu'il soit d'abord vide; tandis que, d'autre part, une » fois plein, rien ne pourra en être retiré sans l'introduction » d'un équivalent. Cette dernière considération, du moins » je le suppose, ferait des fonctions de la soupape une » espèce de sinécure. » Après l'expérience qui précède,

épaisseurs ou de plusieurs feuilles; or le métal ne se prêterait à cette exigence qu'en entraînant dans des frais énormes.

Une seule feuille ou épaisseur de cuivre renferme toujours des défauts, qu'il est impossible de corriger complétement; tandis que lorsqu'il y a plusieurs épaisseurs, les défauts de l'une des feuilles sont couverts par les qualités de l'autre.

Comme je l'ai dit, le métal ne se prête pas à cette exigence; de plus, il a l'inconvénient d'être d'un travail très-long, très-coûteux : et ces deux raisons me déterminent à le considérer comme impropre au service aérostatique, jusqu'à ce qu'il soit démontré que le carton de plusieurs feuilles ne vaut pas mieux; le carton est d'un travail facile que des enfants même peuvent faire avec beaucoup de promptitude : il est donc à désirer qu'il soit expérimenté.

Tels sont les résultats d'une expérience que je n'engage pas à recommencer sans les modifications que j'ai indiquées et après que le carton aura été éprouvé.

---

malgré son insuccès final, l'auteur en question ne doit plus avoir de doutes sur la possibilité de construire et remplir de gaz un ballon sphérique de cuivre, et j'ai fait voir ailleurs (9e et 3e condition) que ce serait encore plus facile avec la forme cylindro-conique.

TROISIÈME PARTIE.

NOTES COMPLÉMENTAIRES.

TROISIÈME PARTIE.

NOTES COMPLÉMENTAIRES.

NOTE I.

Y A-T-IL EU AVANT 1783, ÉPOQUE DE LA DÉCOUVERTE DE MONTGOLFIER, QUELQUES ESSAIS D'ASCENSION DANS L'AIR, CAPABLES DE FAIRE SOUPÇONNER LA CONNAISSANCE DE L'AÉROSTATION ?

Il nous semble intéressant de consulter sur ce point l'histoire des Chinois, qui remonte jusqu'à deux cents ans après le déluge (1); car on sait que ce peuple nous a devancés dans plusieurs découvertes importantes, telles que la poudre à canon, l'imprimerie, la boussole, la construction des bateaux et vaisseaux en fer, le papier à écrire, etc.

Nous allons rapporter ici quelques extraits d'ouvrages relatifs au sujet que nous traitons.

On lit dans les *Mémoires sur l'état présent de*

(1) Voir (pages 73 et 74) *Nouvelle Relation de la Chine, composée en* 1668 *par le R. P. Gabriel de Magaillant* (parent de Magellan le navigateur), *et traduite du portugais en français par le sieur Bernout.*

la Chine, par le P. Louis le Comte (Paris, 1646, lettre VI, au sujet de la fête des Lanternes) :

« On en suspend dans toutes les maisons et » dans les rues en si grand nombre, que c'est » une fureur plutôt qu'une fête. On en allume » peut-être plus de deux cents millions ce jour- » là (1).... On compose des lanternes de toutes » sortes de prix, quelques-unes coûtent jusqu'à » deux mille écus, et il y a tel seigneur qui re- » tranche toute l'année quelque chose de sa » table, de ses habits, de son équipage, pour » être magnifique en lanternes. Ce n'est pas la » matière qui coûte; la dorure, la sculpture, » les peintures, la soie et le vernis en font toute » la beauté. Pour la grandeur, elle est énorme; » on en voit de 25 à 30 pieds de diamètre. » Ce sont des salles ou des chambres, et trois » ou quatre de ces machines seraient des appar- » tements fort raisonnables.... Il faudrait pour » les éclairer, y allumer un feu de joie, tel que » nous le représentons dans nos places publi- » ques; mais, comme ce serait incommode, on » se contente d'y mettre un nombre infini de » bougies ou de lampes, qui de loin font un fort

(1) Probablement dans toute la Chine; car ce nombre serait prodigieux pour une ville.

» bel effet.... On la (la fête des Lanternes) célè-
» bre, à Yang-theou, avec plus de magnificence
» que nulle autre part, et l'on dit qu'autrefois
» les illuminations en étaient si belles, qu'un
» empereur, n'osant quitter ouvertement sa cour
» pour y aller, se mit avec la reine et plusieurs
» princesses de sa maison, entre les mains d'un
» magicien, qui promit de les y transporter
» en très-peu de temps. Il les fit monter, durant
» la nuit, sur des trônes magnifiques, qui furent
» enlevés par des cygnes, et qui, en un moment,
» arrivèrent à Yang-theou. L'empereur, porté
» en l'air, sur des nuages qui s'abaissèrent peu à
» peu sur la ville, vit à loisir toute la fête : il en
» revint ensuite avec la même vitesse et par le
» même équipage, sans qu'on se fût aperçu à
» la cour de son absence. Ce n'est pas la seule
» fable que les Chinois racontent. Ils ont des
» histoires sur tout, car ils sont superstitieux à
» l'excès; et, en matière de magie, soit feinte,
» soit véritable, il n'y a pas de peuple au monde
» qui les ait égalés. »

Voici la version du P. Magaillant, jésuite très-recommandable et très-estimé pour sa véracité, qui est resté plus de quarante ans en Chine, et l'a parcourue dans tous les sens :

Page 131 : « Il y a près de trois mille cinq cents

» ans (c'est en 1668 qu'il écrit, par conséquent
» cette date correspondrait à 1832 avant Jésus-
» Christ) que le dernier roi de la première famille
» Hià, nommé Kie, etc., etc. »

Il raconte avec détail que ce roi très-débauché, fatigué d'être troublé dans ses plaisirs par la triste idée que la vie avait une fin que lui rappelait sans cesse la révolution continuelle des jours et des nuits, voulut un jour se délivrer de cette pensée importune, en se calfeutrant dans son palais et en le fermant à toute lumière sidérale, pour la remplacer par une lumière perpétuelle que donnaient de magnifiques lanternes qui y étaient allumées jour et nuit.

Il passa ainsi une année entière dans ce palais; mais ses vices et ses orgies ayant fini par le faire exécrer de ses sujets, ils se soulevèrent, le détrônèrent et renversèrent sa dynastie.

« Après la mort de l'empereur Kie, continue
» Magaillant, les Chinois détruisirent son nou-
» veau palais où il faisait tant d'actions infâmes
» et détestables et abolirent toutes les ordon-
» nances de ce tyran, à la réserve de cette inven-
» tion des flambeaux et des lanternes, qu'ils
» conservèrent pour célébrer la fête dont nous
» parlons.

» Les Chinois racontent encore qu'environ

» deux mille ans après (deux mille ans après
» 1832 avant Jésus-Christ, c'est 168 ans après
» Jésus-Christ) un autre empereur de la dixième
» famille royale, appelée Tang, se laissa sur-
» prendre par un charlatan de la secte de
» ceux qu'on appelle Tao-ssé, qui font profession
» de tromper le peuple, les lettrés, les nobles,
» et même les princes, par des opérations chi-
» miques, et par des promesses pompeuses et
» magnifiques, leur promettant par leur art une
» infinité d'or et d'argent, une vie presque éter-
» nelle, et de les faire voler d'une montagne,
» d'une ville, d'une province à l'autre, en peu
» de moments. Ce roi, s'étant donc laissé gagner
» à l'un de ces fourbes ou magiciens, lui dit qu'il
» avait une extrême envie de voir les lanternes
» de la ville de Yang-theou, dans la province de
» Kiang-nan, qui pour leur beauté, leur richesse
» et leur artifice, étaient les plus curieuses et
» les plus célèbres de tout l'empire.

» Le magicien se chargea de le transporter
» incognito, sans que son absence fût connue à
» la cour.

» Peu de temps après, on vit tout d'un coup
» paraître en l'air des chariots et des trônes for-
» més de nuées blanches, et traînés par des
» cygnes. Le roi et la reine y montèrent avec

» quantité de damoiselles, de dames d'honneur
» et de musiciens du palais. Les cygnes partirent
» avec une extrême vitesse, et en peu de mo-
» ments arrivèrent à Yang-theou, que les nuées
» qui s'élargirent, couvrirent tout entière. Le
» roi vit à loisir les lanternes que le peuple avait
» allumées; et pour le récompenser des divertis-
» sements qu'il lui avait donnés, il fit faire par
» ses musiciens un concert de voix et d'instru-
» ments, lequel étant fini, il reprit le chemin de
» sa capitale, et en un clin d'œil il se trouva dans
» son palais comme auparavant. Un mois après
» il vint, suivant la coutume, un courrier avec
» une dépêche, par laquelle on donnait avis au
» roi, que, la nuit des lanternes, on avait vu sur la
» ville de Yang-theou, sur des trônes de nuées
» tirés par des cygnes, des hommes saints, qui
» avaient fait un concert admirable de voix et
» d'instruments. »

Il était important d'avoir des détails sur ce voyage aérien de l'empereur, et c'est ce qui m'a engagé à faire, à la Bibliothèque royale, des recherches à ce sujet. J'ai d'abord consulté l'*Histoire de la Chine*, par Mailla, à la date de 168 ans après Jésus-Christ : non-seulement je n'y ai pas trouvé la relation de ce voyage de l'empereur, mais encore j'ai vu qu'à cette date, ce n'était pas

la dixième famille indiquée par Magaillant, qui régnait alors. J'ai parcouru l'ouvrage depuis 952 avant Jésus-Christ jusqu'à 618 après Jésus-Christ, et je n'ai pas été plus heureux.

Dans le même ouvrage, à la date de 1785 après Jésus-Christ, on trouve, page 655, quelques détails relatifs à cette fête des Lanternes; les voici :

« Cette cérémonie est universelle dans l'em-
» pire, et le même jour, à la même heure, on
» peut dire que toute la Chine est illuminée. Les
» villes, les villages, les rivages de la mer, le bord
» des rivières sont garnis de lanternes peintes
» et d'une forme variée. On en voit dans les
» cours et aux fenêtres des maisons les plus pau-
» vres. Les citoyens riches dépensent jusqu'à
» deux cents francs par lanterne; celles que font
» faire les grands mandarins, les vice-rois et l'em-
» pereur, coûtent quelquefois jusqu'à trois et
» quatre mille francs. Ces lanternes sont très-
» grandes; quelques-unes sont composées de six
» panneaux encadrés dans des bois peints ou
» dorés. Le panneau est composé d'une toile de
» soie fine et transparente, sur laquelle on a eu
» soin de peindre des fleurs, des animaux et des
» figures humaines; d'autres sont rondes, faites
» d'une corne bleue et transparente. On met

» dans ces lanternes beaucoup de lampes et un
» grand nombre de bougies. On attache à cha-
» que angle des banderoles de satin et de soie
» qui diffèrent de couleur, et la lanterne est cou-
» ronnée par un morceau de sculpture. »

A l'article LAMPE ou LANTERNE de l'encyclopédie chinoise, intitulée *Youen-kien-louï-han*, liv. 360, fol. 4, on lit:

« La princesse de Han fit construire une
» lanterne qui était haute de 80 pieds, et
» lorsqu'elle était allumée, son éclat se répan-
» dait à une distance de plusieurs lis (le li, me-
» sure chinoise, est le dixième de la lieue de
» France (1). »

Dans les *Lettres édifiantes sur la Chine*, il n'y a rien d'important sur la fête des Lanternes.

Au cabinet des estampes et gravures de la Bibliothèque royale, j'ai parcouru sans plus de succès: le *Recueil historique des principaux traits de la vie des Empereurs chinois*, en deux volumes in-folio; et les *Faits mémorables des Empereurs chinois*, en un volume.

Si je me suis attaché à rassembler des détails

(1) Je dois la traduction de ce passage et divers autres renseignements, à l'obligeance de M. Stanislas Julien, dont les travaux sur la langue chinoise sont bien connus.

sur cette fête des Lanternes, c'est afin de montrer que par leur construction en toile ou soie vernie, par leur grandeur (de 8, 10, 27 mètres de diamètre) et les feux qu'elles renferment, elles ont beaucoup d'analogie avec nos premiers aérostats marchant par le feu, appelés *montgolfières;* et comme ces énormes lanternes contenaient un grand nombre de bougies dont la chaleur devait considérablement échauffer l'air qu'elles renfermaient, il a dû arriver probablement que quelquefois cet air échauffé a déterminé l'ascension de la lanterne. De là a pu naître l'idée d'une grande lanterne très-légère ou d'un véritable aérostat, et par conséquent peut-être la connaissance de l'aérostation. Mais cette connaissance, si jamais elle a existé, est sans doute restée le secret de cette secte de magiciens dont parle Magaillant, qui, après des recherches et des expériences nombreuses, est enfin parvenue à réaliser un jour l'idée de transporter l'empereur et sa suite à Yang-theou, qui se trouve à 700 kilomètres de Pékin. Cette connaissance de l'aérostation a dû être un des plus beaux fleurons de la couronne scientifique des magiciens chinois; et pour cette raison ils se seront bien gardés de la divulguer, afin de conserver la prépondérance qu'elle leur donnait; mais ce secret sera proba-

blement mort avec eux, et de là provient peut-être le silence que l'Encyclopédie chinoise garde sur l'art de l'aérostation, si toutefois les magiciens l'ont connu.

Tel est le sens probable qu'on peut donner à l'histoire du voyage aérien de l'empereur chinois. Quant aux cygnes qui conduisaient les chariots à travers les airs, on peut dire que les Chinois nous sont infiniment supérieurs dans l'art de dresser des animaux à leurs usages. Ainsi, l'on trouve dans la *Revue d'Orient* (19e cahier, novembre 1844), un article de l'abbé Voisin, où il nous apprend que ce peuple est parvenu à dresser pour la pêche les cormorans et les loutres. Dans cette espèce d'exercice, ces dernières sont tenues au moyen d'une chaîne, afin qu'elles ne s'emportent pas après le poisson, et le rapportent à leur maître. Une loutre bien dressée se vend jusqu'à 2000 francs. Un bon cormoran coûte 100 francs.

En présence de ces résultats, la fable des cygnes, dont nous avons parlé précédemment, pourrait peut-être ne plus paraître aussi invraisemblable.

Au reste, l'idée plaisante de la traction des aérostats par des oiseaux n'est pas neuve; on trouve, à la bibliothèque du comité du

Génie, un Mémoire où l'auteur rappelle que l'aigle enlève un mouton, et que, par conséquent, on pourrait l'appliquer au tirage des aérostats.

Dans un autre Mémoire, à la date de décembre 1784, un capitaine d'artillerie proposait sérieusement la direction des ballons par des oiseaux dressés à cet usage, et il donnait gravement de fort longs détails à ce sujet.

Rapportons encore quelques passages relatifs à des ascensions présumées :

Dans le chant XXIX de l'*Enfer du Dante*, on voit qu'Arezzo fut puni pour avoir fait des tentatives infructueuses dans le but de s'élever dans les airs.

Dans le *Dictionnaire généalogique, historique et critique de l'Écriture sainte, par l'abbé* ***, 1804, on lit, à l'article SIMON XI, MAGUS :

« Simon, voulant persuader un jour sa divi-
» nité à l'empereur (Néron), promit de s'élever
» au ciel à la vue de tout le monde. Tout le
» peuple s'assembla pour être témoin d'un spec-
» tacle si extraordinaire, et Simon s'éleva, ou
» plutôt fut enlevé par les démons; mais saint
» Pierre s'étant mis en prière, fit cesser l'action
» des esprits malins, et le magicien, s'étant brisé
» le corps dans sa chute, mourut dans l'instant

» (66 de Jésus-Christ). Cela arriva la treizième » année de Néron (1). »

Ces deux exemples ont plutôt rapport au vol aérien qu'à l'aérostation; le second, qui a eu lieu en 66 de Jésus-Christ, se rapprocherait de l'époque 168 de Jésus-Christ, fixée pour le voyage de l'empereur chinois par Magaillant, et semblerait prouver que, vers cette époque, il y a eu quelques tentatives d'ascension et peut-être même quelques idées d'aérostation qui ne nous sont pas parvenues.

Dans la relation de l'ambassade à Siam, vers la fin du XVIIe siècle (*Bibliothèque géographique et instructive des jeunes gens*, 6e année, tome IV, page 169), on lit :

« Un saltimbanque (à la cour du roi de Siam) » grimpait au haut d'un bambou élevé et se

---

(1) Dans la *Biographie universelle*, t. XLII, article SIMON MAGUS, il est dit :

« Simon, voulant donner une preuve éclatante de sa puis- » sance, prit l'engagement de s'élever dans *un char de feu;* » mais il tomba, et mourut des suites de cette chute, vers » l'an 64 de Jésus-Christ. »

L'*Histoire ecclésiastique* de Tillemont, t. II, p. 37, et le *Dictionnaire des Hérésies*, par Pluquet, rapportent le même fait; mais le premier de ces ouvrages le regarde comme apocryphe.

» laissait descendre sans autre secours que deux » parasols dont les manches étaient attachés à » sa ceinture. Il s'abandonnait ainsi au vent, » qui le portait au hasard, tantôt à terre, tantôt » sur des arbres ou sur des maisons, et tantôt » dans la rivière, sans que jamais cet homme se » fît du mal. » N'est-ce pas là l'idée de nos parachutes?

En résumé, on voit par ce qui précède, qu'il est difficile de conclure qu'avant Montgolfier il y ait eu un art aérostatique.

NOTE II.

EXPÉRIENCES SUR DE L'ALCOOL ROUGI ET DE L'EAU, PAR ANALOGIE AVEC L'HYDROGÈNE ET L'AIR.

§ 1.

Il n'y a pas de ballon qui n'ait des trous plus ou moins apparents. Ceux de ces trous qui sont visibles scintillent à l'œil de l'observateur placé dans l'intérieur d'un ballon plein d'air, comme des étoiles au firmament : aussi l'aéronaute, avant d'introduire son gaz, a-t-il le soin de remplir d'air son aérostat et de se placer dans l'intérieur pour appliquer, sur chacun des trous qu'il aperçoit, une mouche de toile vernie; mais on comprend qu'un grand nombre doive lui échapper en raison de leur petitesse. Or, en admettant qu'il en reste toujours, il est fort intéressant d'étudier le mode d'échange qui se pratique à chacun de ces trous entre l'air et le gaz.

Pour s'en convaincre *de visu*, il faudrait que l'air et le gaz fussent de couleur ou d'apparence différente; mais cette condition n'existant pas,

j'ai pris deux fluides d'une apparence distincte (l'alcool rougi et l'eau) que j'ai placés dans une condition semblable à celle où se trouve le gaz dans l'aérostat par rapport à l'air extérieur, et j'en ai tiré, par analogie, des conclusions pour les échanges d'air et de gaz qui ont lieu entre le ballon plein d'hydrogène et l'air ambiant.

Les choses se passent différemment suivant que l'enveloppe est rigide ou flexible, c'est-à-dire en verre ou en soie, par exemple.

Examinons ces deux cas.

Des enveloppes rigides.

Prenez un grand vase de verre A (*fig.* 41 et 42) plein d'eau, plongez-y complétement un ballon de verre B plein d'alcool rougi avec de la cochenille, préalablement fermé avec un bouchon et percé d'un petit trou D gros comme celui que ferait une épingle, et fermé aussi avec un bouchon; puis lorsque l'immersion sera complète, débouchez D : alors, soit que D se trouve dans la position indiquée par la *fig.* 41, ou par celle de la *fig.* 42, vous remarquerez, dans l'un et l'autre cas, un petit filet rouge d'alcool, sortant et montant à la surface sans se décolorer, et un petit filet blanc d'eau, entrant, traversant

l'alcool et descendant dans la partie la plus basse de B, sans se colorer.

Des enveloppes flexibles.

Si, au lieu du ballon de verre B vous prenez un petit aérostat de baudruche B (*fig.* 43) plein d'alcool rougi, muni d'un petit poids E qui le tienne en équilibre dans l'eau, et percé d'un petit trou D, alors vous remarquerez seulement un filet rouge montant à l'extérieur, et il n'y aura plus de filet d'eau à l'intérieur comme ci-dessus; mais le vide que fait dans l'aérostat la sortie de l'alcool est rempli par l'aplatissement de l'aérostat en dessous, c'est-à-dire que l'eau remplace à l'extérieur et au-dessous l'alcool évacué par D.

Donc, par analogie, quand un ballon d'étoffe flexible perd son gaz par ses trous, il ne laisse pas introduire d'air à l'intérieur, mais il doit se dégonfler par le dessous; tandis que dans un ballon dont l'enveloppe serait rigide, il y a un filet sortant de gaz et un filet entrant d'air, c'est-à-dire émission de gaz et introduction d'air.

J'insiste sur ce point, parce que j'ai vu des personnes prétendre qu'il y avait introduction d'air dans le premier cas, tandis que cela n'a lieu que dans le second cas; et ce second cas ne se

présente pas en aérostation, puisque les enveloppes sont plus ou moins flexibles.

§ 2.

J'ai voulu étudier aussi sur l'alcool rougi et l'eau l'introduction de l'hydrogène dans un ballon plein d'air, en substituant le gaz à l'air; cela m'a conduit plus tard à expérimenter directement ce procédé sur l'hydrogène et l'air dans un petit aérostat en baudruche de 1 mètre de diamètre, puis ensuite dans un grand ballon de cuivre de 10 mètres de diamètre (*voir* construction du ballon de cuivre).

Soient A (*fig.* 44) un ballon de verre plein d'eau et bouché, B et C deux tubes traversant le bouchon, et D un entonnoir suffisamment élevé au-dessus de A pour que la colonne de la différence de niveau détermine l'écoulement de l'alcool. Si vous introduisez l'alcool rouge par l'entonnoir D, vous le verrez se superposer à l'eau au sommet de A, et la ligne de séparation des deux liquides rester toujours bien nette jusqu'à ce que toute l'eau se soit écoulée par le tube B.

Il ne faut pas que le tube C arrive trop près de la calotte supérieure du ballon de verre A, car alors le liquide rouge, renvoyé par cette surface, se répandrait en nuage en se mêlant à l'eau.

Cette observation m'a servi pour la disposition du tube intérieur dans mon grand ballon de cuivre.

Au moment où la surface de séparation des deux liquides affleurera le tube B, recueillez la première couche de liquide rouge, et pesez-le avec l'alcoomètre : vous ne verrez presque pas de différence avec l'alcool qui n'a pas servi. Ainsi mon liquide rouge indiquait, avant l'opération, 30 degrés, et celui de la première couche 29 degrés; il y avait donc eu bien peu de mélange. Le liquide des autres couches n'en indiquait pas, quoique l'alcool ait une grande affinité pour l'eau, et que la différence de leur densité soit bien petite (0,792 et 1).

Le poids de l'eau que j'ai employé était de 77, et celui de l'alcool rouge était de 69 pour un même volume. Qu'on juge des chances de succès que présente ce mode de remplissage avec l'hydrogène et l'air, dont les densités sont 0,06 et 1, si l'on observe que ces chances de succès sont proportionnelles aux différences de densité.

NOTE III.

DE L'EMPLOI DU CARTON DANS LES ENVELOPPES AEROSTATIQUES.

Guyton de Morveau a dit que, s'il avait à refaire un aérostat, il le construirait en carton, non en pâte ni en feuille, mais en carton fait sur place avec diverses couches de papier collées les unes sur les autres. On pourrait en effet obtenir ainsi une imperméabilité presque parfaite avec un nombre de couches de papier suffisant, et la ténacité de l'enveloppe pourrait atteindre celle du métal, car un ruban de $0^m,01$ de large de carton composé de trois feuilles de papier rompt à 6 kilogrammes; en supposant neuf feuilles de papier, il romprait à 18 kilogrammes, poids qui est plus grand que la limite de résistance (14 kilogrammes) du cuivre que j'ai expérimenté. Une enveloppe de carton composée d'un certain nombre de couches de papier semblerait donc réunir des qualités d'imperméabilité, légèreté, ténacité, bon marché, facilité d'exécution, bien supérieures à celles du métal et dignes de le faire préférer, s'il

était possible de le garantir d'une manière satisfaisante de l'humidité. De nombreuses expériences sont à faire à ce sujet; et, en attendant qu'elles s'exécutent, il nous est permis d'entrevoir que dans l'aérostation colossale qui doit toujours être le point de mire de toutes les recherches, un ballon de carton recouvert de glu marine ou autre hydrofuge serait un appareil fort satisfaisant, et dont la durée, la solidité pourraient être assurées.

NOTE IV.

FORMULES AÉRONAUTIQUES.

On ne peut s'occuper sérieusement d'aérostation à moins d'être versé dans les calculs qui suivent, car sans eux il est impossible de se rendre compte de la combinaison des effets différents provenant des variations continuelles de température et de pression atmosphérique. Ces calculs sont, pour ainsi dire, la clef de l'aérostation; sans eux il est impossible de n'être pas arrêté à chaque pas.

§ 1.

De l'aérostation ordinaire, c'est-à-dire sans pression intérieure et avec variation du volume de l'aérostat.

Ce genre d'aérostation a été démontré inapplicable à la navigation aérienne; mais comme c'est celui dont on a fait usage jusqu'à présent, nous croyons qu'il est utile d'en donner les formules.

L'équation générale de la force ascensionnelle

d'un aérostat quelconque, sans pression intérieure, à un instant donné, est

$$F = (p - p')C - M - R,$$

C étant la portion de capacité du ballon occupée par l'hydrogène;

M le poids constant de l'enveloppe, filets, agrès et de la charge;

R la résistance qu'oppose l'air au mouvement de l'appareil;

p le poids de 1 mètre cube d'air;

p' le poids de 1 mètre cube d'hydrogène;

F le poids que le ballon peut soulever et dont on peut le charger, ou la force ascensionnelle qui, à terre, pourrait être mesurée à la romaine.

Dans cette formule, p et p' varient avec la température et la pression atmosphérique qui produisent des effets différents; car :

La température, en diminuant pendant l'ascension, fait *augmenter* la densité de l'air ambiant; tandis que la pression, en diminuant pendant l'ascension, fait *diminuer* la densité de l'air ambiant.

Il est donc important de chercher la valeur de p et p' en fonction de la pression et de la température extérieure, à un instant donné.

Soient h la hauteur du baromètre, et n^o le nombre de degrés du thermomètre à l'instant donné; on aura

$$p = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1 + 0,00375.n} \text{ (*)}$$

et

$$p' = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{0,089}{1 + 0,00375.n} \text{ (**)};$$

(*) Un mètre cube d'air, à 0° et 0,76, pèse $1^k,2991$. Pour chaque degré d'augmentation de température, le volume augmente de 0,00375, coefficient de dilatation; pour n^o, le volume devient $1 + 0,00375.n$. Or les poids sont en raison inverse des volumes : d'où

$$1^{mc} : 1^{mc} + 0,00375.n :: x : 1^k,2991;$$

donc

$$x = \frac{1^k,2991}{1 + 0,00575.n}$$

sera le poids du mètre cube d'air à n^o.

Les poids sont proportionnels aux pressions : on a donc

$$p : 0,76 :: x : h, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{h}{0,76} p;$$

et, en remplaçant p par la valeur ci-dessus, on a

$$x = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1 + 0,00375.n}$$

pour poids du mètre cube d'air à n^o et à h du baromètre.

(**) La densité de l'hydrogène à 0 degré est 0,0688 lorsque celle de l'air est 1; d'où, lorsque le poids de

d'où

$$p-p'=\frac{h}{0,76}\cdot\frac{1^k,2991-0^k,0894}{1+0,00375.n}=\frac{h}{0,76}\cdot\frac{1^k,21}{1+0,00375.n}.$$

Substituant dans la formule ci-dessus, on obtient

$$F=C\frac{h}{0,76}\cdot\frac{1^k,21}{1+0,00375.n}-M-R.$$

Telle est l'équation de la force ascensionnelle d'un ballon quelconque, sans pression intérieure, à un instant donné, où le thermomètre indique n^0, et le baromètre h.

Si l'on suppose que l'ascension se fasse sans pression intérieure, par conséquent avec variation du volume, il y aura dans cette formule quatre valeurs qui varieront aussitôt que le mouvement du ballon commencera, ou, ce qui revient au même, aussitôt que les données thermométriques et barométriques de l'instant donné changeront,

---

1 mètre cube d'air est $1^k,2991$, on a

$$1 : 0,0688 :: 1^k,2991 : x;$$

donc

$$x = 0^k,0894$$

donne le poids du mètre cube d'hydrogène, à 0 degré et à 0,76; et par un raisonnement analogue au précédent, on trouvera la valeur de p' à n^0 et h du baromètre.

soit à terre, soit en l'air; ce sera

$$C,\ h,\ n \text{ et } R.$$

Appelons-donc F', C', h', n' et R' les nouvelles valeurs que prendront F, C, h, n et R à un autre instant; on aura de même

$$F' = C' \frac{h'}{0,76} \cdot \frac{1,21}{1 + 0,00375.n'} - M - R'.$$

Dans cette formule, h' et n' sont connus par l'observation, et l'on aura C' par l'équation suivante, qui est la formule du changement de volume du gaz, par suite des variations barométriques et thermométriques, soit à terre, soit en l'air :

$$C' = C \frac{h}{h'} [1 + (n' - n) 0,00375] \ (*).$$

(*) Le terme 0,00375 étant le coefficient de dilatation de tous les gaz pour 1 degré centigrade entre 0 et 100 degrés, tiré de la loi de Mariotte et de celle de Gay-Lussac (voir *Physique* de Peclet, tome I, page 466), 1 mètre cube de gaz à $n°$ et h devient, à $n'°$,

$$1 + (n' - n) 0,00375;$$

d'où C mètres cubes, à $n'°$, deviennent

$$C (1 + n' - n) 0,00375,$$

et à h',

$$C \frac{h}{h'} [1 + (n' - n) 0,00375].$$

Remplaçant dans F′ la valeur de C′, on a

$$(1)\quad \begin{cases} F' = C\dfrac{h}{h'}[1+(n'-n)\,0{,}00375]\dfrac{h'}{0{,}76}\cdot\dfrac{1{,}21}{1+0{,}00375.n'} - M - R' \\ \quad = C\dfrac{h}{0{,}76}[1+(n'-n)\,0{,}00375]\cdot\dfrac{1{,}21}{1+0{,}00375\,n'} - M - R', \end{cases}$$

ou

$$(2)\quad \begin{cases} F' = C\dfrac{h}{0{,}76}\left(1-\dfrac{n}{\dfrac{1}{0{,}00375}+n'}\right)1{,}21 - M - R' \\ \quad = C\dfrac{h}{0{,}76}\left(1-\dfrac{n}{266{,}6+n'}\right)1{,}21 - M - R'. \end{cases}$$

Ainsi, pour l'ascension d'un aérostat sans pression intérieure, où l'on connaît au départ la capacité C occupée par le gaz dans le ballon, (capacité qui sera une certaine fraction du volume du ballon complétement tendu), la hauteur barométrique h, et la température n, le ballon étant captif, et par conséquent R nul, on aura la valeur à terre de F par la première équation ci-dessus :

$$(3)\qquad F = C\frac{h}{0{,}76}\left(\frac{1{,}21}{1+0{,}00375.n}\right) - M.$$

A la limite de hauteur que peut atteindre le ballon, là où il reste immobile, où R′ est par conséquent nul ; ou pendant le cours de l'ascension, si on la suppose très-lente, par conséquent R à peu près nul ; ou bien encore à terre, à un moment pos-

térieur au règlement de l'appareil, cas où R′ est encore nul ; on aura F′ par la deuxième équation ci-dessus :

$$(4) \qquad F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6 + n'}\right)^{1,21} - M,$$

dans laquelle on introduira la valeur de n' déduite de l'observation du thermomètre (1).

Ainsi, *dans une ascension très-lente*, où R′ est à peu près nul, il est à remarquer que h' ne figure pas dans la valeur de F′, et *qu'il suffirait à l'aéronaute de regarder son thermomètre pour connaître la variation de sa force ascensionnelle.* C'est qu'en effet la variation du baromètre est sans action sur la force ascensionnelle, puisque le ballon sans pression intérieure obéit à cette variation par la faculté qu'il a de changer lui-même son volume (2).

---

(1) Les quantités n et n', dans les équations qui précèdent et suivent, indiquent la température extérieure, que nous supposons transmise instantanément dans l'intérieur du ballon ; par conséquent, n et n' indiquent au même moment la température de l'hydrogène et de l'air extérieur. Cette supposition ne paraît pas différer beaucoup de ce qui se passe ; mais si l'on supposait une température intérieure différente de la température extérieure, les calculs seraient beaucoup plus compliqués.

(2) Une équation semblable, c'est-à-dire indépendante

Cette dernière équation peut être considérée comme celle de la force ascensionnelle du ballon à terre, et quelque temps après le règlement de l'appareil; ou comme celle du mouvement du ballon, au moment où il est près d'atteindre sa limite de hauteur, et où la résistance de l'air R′ est nulle, par suite de l'extrême lenteur de l'ascension. Dans ces deux cas, il est à remarquer que, lorsque n est positif, F′ croît ou décroît avec le dénominateur de la fraction $\frac{n}{266,6 + n'}$, c'est-à-dire avec n', température d'une observation (soit à terre, soit en l'air) postérieure au règlement de l'appareil; lorsque $n = 0$, F′ ne varie pas; et lorsque n est négatif, F′ croît ou décroît contrairement à n'.

Examinons successivement ces trois cas qui peuvent être d'une application utile dans l'aérostation actuelle, c'est-à-dire dans les ballons sans pression intérieure.

---

de la variation barométrique, pourrait être établie pour un nuage, qui est, en quelque sorte, un aérostat sans pression intérieure et pouvant varier son volume; on en conclurait que la hauteur des nuages est indépendante de la variation du baromètre, et ne dépend que de la variation de température des couches atmosphériques.

PREMIER CAS : n POSITIF.

n, la température du règlement de l'appareil (1), étant positif, c'est-à-dire le thermomètre indiquant à terre, à ce moment, une température au-dessus de zéro, nous venons de voir que F′ croît ou décroît avec n', température d'une observation (soit à terre, soit en l'air) postérieure au règlement de l'appareil.

D'où il suit que, dans le cas de n positif, *si avec un ballon ordinaire, c'est-à-dire sans pression intérieure, on voulait monter très-haut, il faudrait s'arranger de manière à ce que la température à la limite de hauteur différât, le moins possible, de la température à terre : ainsi il y aurait avantage à partir de très-grand matin,* pour que la différence entre la température de la terre (n) et celle de la limite de hauteur (n') fût la plus petite possible.

En effet, par ce moyen, le soleil, en s'élevant sur l'horizon, échaufferait un peu les couches supérieures de l'atmosphère que le ballon doit atteindre; et la température de ces couches, qui varie peu, serait alors peu différente de celle qui

(1) Nous appelons *régler l'appareil*, l'opération qui consiste, à un instant donné, à constater n, h et C, qui sont des quantités considérées comme connues.

existe à terre le matin (au moment du départ ou du règlement de l'appareil) : n', et par conséquent F', aurait donc peu diminué, et le ballon monterait très-haut (1).

Ceci se comprendra mieux lorsque nous chercherons tout à l'heure la valeur de h' à la limite de hauteur, ou du maximum de h'.

En supposant toujours n positif, le ballon au repos, soit à terre, soit en l'air, et par conséquent $R' = 0$; si dans la formule (4) on fait $n' = n$ (cas possible à terre seulement), alors $F' = F$ (2);

---

(1) MM. Alban et Vallet (Précis des expériences) se plaignent de la rapidité de l'ascension que prend le ballon quand le soleil vient à échauffer l'atmosphère, etc.

Donc F' croît avec n'; donc l'expérience confirme le calcul.

(2) Voici les détails du calcul :

$$1 - \frac{n}{266,6 + n} = \frac{266,6}{266,6 + n} = \frac{1}{1 + \frac{n}{266,6}};$$

or

$$266,6 = \frac{1}{0,00375};$$

donc la dernière valeur devient

$$\frac{1}{1 + 0,00375 . n}.$$

Remplaçant dans la formule (4), on a

$$F' = F.$$

si dans la même formule on fait $n' > n$ (cas possible à terre seulement) (1), on a $F' > F$, puisque F' croît avec n'; si dans la même formule encore, on fait $n' < n$ (cas possible à terre et en l'air), on a $F' < F$, puisque F' décroît avec n' (F, répétons-le, étant la valeur de la force ascensionnelle constatée à un instant donné, soit au départ, soit au règlement de l'appareil).

En d'autres termes :

1°. Si n étant positif pendant que le ballon est immobile *à terre* ou *en l'air*, la température reste constante, ou augmente, ou diminue, la force ascensionnelle (nulle ou neutralisée par un poids par hypothèse), restera constante, ou augmentera, ou diminuera. *En l'air*, l'appareil restera stationnaire, ou montera, ou descendra; *à terre*, le tirage des cordes d'ancre ne variera pas, ou augmentera, ou diminuera.

L'aéronaute devra donc en tous temps visiter

---

(1) Jusqu'à présent, les ascensions n'ont pas fourni d'exemple de $n' > n$ en l'air. Le courant d'air tropical que les météorologistes disent exister à une grande hauteur, et qui devrait, par conséquent, avoir la température des tropiques, n'a pas encore pu être signalé par les aéronautes. Tout porte donc à croire que n' sera toujours plus petit que n en l'air (*voir* Note V, Table III).

souvent son thermomètre et surveiller les conséquences des indications que lui donnera cet instrument.

2°. Si à la limite de hauteur, là où $R' = 0$, et par conséquent où le ballon est immobile, la température des hautes régions de l'atmosphère pouvait égaler ($n' = n$) ou surpasser ($n' > n$) celle de terre, la force ascensionnelle (nulle par hypothèse) resterait stationnaire, ou augmenterait; et, dans ce dernier cas ($n' > n$), le mouvement (nul ou très-lent par l'hypothèse de $R' = 0$) se continuerait indéfiniment, s'il n'était arrêté, d'ailleurs, par les pertes de gaz provenant de la perméabilité de l'enveloppe, et surtout par la pleine extension de cette dernière.

A terre, $n' > n$ positif pourrait présenter quelques applications utiles de force gratuite, dans les aérostats de grandes dimensions, qui, par une variation de 10 degrés de température, comme nous le verrons plus loin, produisent $8616^k,16$ de force ascensionnelle. En effet, en enroulant la corde B (*fig.* 45) de l'aérostat A autour d'un treuil C, on ferait tourner ce treuil et soulever un poids D qui pourrait être de $8616^k,16$, si n étant positif et désignant, par exemple, la température d'une matinée d'été, n' devenait seulement plus grand que n de 10 degrés,

cas fort ordinaire en été : le poids D de $8616^{k},16$ serait donc soulevé par la seule chaleur du soleil, et redescendrait le soir au retour de la fraîcheur.

On pourrait appliquer cette propriété aux arrosages de ville.

DEUXIÈME CAS : $n = 0$.

Nous avons vu que si l'on règle l'appareil à la température de zéro, F′ ne varie pas et devient indépendant de n' ou des variations de température subséquentes (R′ étant toujours nul, par conséquent le ballon immobile, à terre comme en l'air) ; il suit de là que :

A terre, le ballon n'aura rien à craindre des variations de température : le poids F′ qu'il soulèvera au moment du règlement de l'appareil, il pourra toujours le soulever plus tard, quelle que soit la température ; il pourra encore le soutenir à la limite de hauteur, et il monterait indéfiniment si la pleine extension de son volume n'exigeait pas qu'il s'arrêtât sous peine de crever. Dans ce cas, l'aéronaute devra se mettre en mesure de ne pas monter trop vite, ou de redescendre quand son ballon sera complétement tendu.

TROISIÈME CAS : n NÉGATIF.

Ce cas sort des conditions atmosphériques ordinaires dans notre climat, car la température du règlement de l'appareil y descend rarement au-dessous de zéro; les conséquences seront inverses de celles du cas de n positif, auquel je renvoie.

Ce qui précède nous conduit à rechercher et à résoudre le problème suivant :

A quelle hauteur un ballon sans pression intérieure, étant rempli de gaz à terre, aux trois quarts par exemple, aura-t-il atteint son plein développement, par conséquent sa limite de hauteur?

Si C, le volume du gaz à terre, est égal à $\frac{3}{4}$ V, V étant le volume du ballon complétement développé; si, enfin, on a

$$C = \tfrac{3}{4} V,$$

on obtiendra

$$V = \tfrac{4}{3} C.$$

Or nous avons vu que C′, volume du gaz en l'air, était

$$C' = C \frac{h}{h'} [1 + (n' - n) 0,00375].$$

La limite de hauteur, ou h' maximum, aura donc lieu lorsque

$$C' = V = \tfrac{4}{3} C.$$

On aura donc h' de l'équation suivante :

$$\tfrac{4}{3}C = C\frac{h}{h'}[1 + (n' - n)\,0{,}00375];$$

d'où

$$h' \text{ maximum} = \tfrac{3}{4}h[1 + (n' - n)\,0{,}00375]$$

à la limite de hauteur.

On voit clairement, par cette équation, que, dans le cas de n positif, h' sera d'autant plus grand que n' sera près d'égaler n; car n' est généralement plus petit que n (c'est-à-dire qu'en l'air la température est généralement plus basse qu'à terre), par conséquent $(n' - n)$ sera généralement négatif; et lorsque $n' - n = 0$, ou lorsque la température de la limite de l'ascension sera égale à celle du départ, h' (hauteur barométrique de l'ascension) sera le plus grand possible. Répétons-le donc, pour monter haut lorsque n est positif, il y a avantage de partir le matin, moment où la différence des températures des couches inférieures et supérieures est la plus petite possible.

En général, *h' maximum, ou la hauteur du baromètre à la limite de hauteur de l'aérostat, sans pression intérieure, sera égale à une fraction*

de la hauteur de cet instrument au moment du départ, ou du règlement de l'appareil, laquelle fraction sera celle du volume total du ballon qu'occupe le gaz à ce même moment du départ ou du règlement de l'appareil. Ainsi, dans le dernier exemple, où le gaz occupe au départ les $\frac{3}{4}$ V, $h' = \frac{3}{4} h$. Le reste de la valeur de h' est peu important et peut être considéré comme une correction à introduire.

Si la température n' n'a qu'une petite influence sur la valeur de h', elle en a une très-grande sur la valeur de F', surtout lorsqu'il s'agit de ballons de grandes dimensions.

Ainsi, si l'on suppose qu'il s'agisse de trouver la différence de la force ascensionnelle au départ, ou au moment du règlement de l'appareil, d'un ballon sans pression intérieure, dont le gaz occupe une capacité C = 5488000 mètres cubes (1) dans la capacité totale du ballon, avec celle qu'il aura à sa limite de hauteur, ou à un autre moment à terre où n' aura varié, deux cas où R' = 0; on trouvera, en prenant des données ordinaires de température et de hauteur barométrique,

(1) C'est le volume de l'air déplacé par l'aérostat de 450 chevaux et de 70 mètres de rayon, calculé dans la 6e condition.

par exemple :

$h = 0,76$;

$n =$ 10 degrés, température du départ ou du règlement de l'appareil;

$n' =$ 0 degré, température de la limite de hauteur, ou température, à terre, d'un moment où n aura varié;

on trouvera, disons-nous, que la perte de force ascensionnelle du ballon, lorsqu'il arrivera à la limite de hauteur, ou lorsque, sans quitter terre, la température seule aura varié de n à n', ou, dans ce cas-ci, de 10 degrés à 0 degré, sera de

$$F - F' = 8616^k,16 \text{ (*)},$$

(*) Dans l'équation générale du ballon au repos (soit à terre, soit en l'air)

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6 + n'}\right)1,21 - M,$$

j'introduis les données ci-dessus : j'aurai pour le départ, en observant que $n' = n = 10$ degrés,

$$F = 5488000\left(1 - \frac{10}{276,6}\right)1,21 - M$$
$$= 5488000(0,9638)\,1,21 - M;$$

et pour la limite de hauteur,

$$F' = 5488000\left(1 - \frac{10}{266,6}\right)1,21 - M$$
$$= 5488000\,(0,9625)\,1,21 - M;$$

d'où

$$F - F' = 5488000\,(0,0013)\,1,21$$
$$= 5488000.0,00157 = 8616^k,16.$$

tandis que pour un ballon où C = 1000 mètres cubes seulement, et dans les mêmes circonstances,

$$F - F' = 1^k,57.$$

Ainsi, *dans les ballons sans pression intérieure et de grandes dimensions, la perte de force ascensionnelle provenant de la variation de température, soit dans les régions supérieures de l'atmosphère, soit à terre, deviendra très-considérable, et il sera très-important de partir le matin (lorsque n' est positif) pour diminuer cette perte autant que possible et rester en l'air le temps voulu; ou, en restant à terre, on pourra se procurer une force ascensionnelle ou descensionnelle (suivant certaines combinaisons de température) considérable, qu'on pourra utiliser comme force motrice gratuite.*

Le ballon doit partir de terre avec une force ascensionnelle égale à la perte de force présumée (1) qu'il doit éprouver à sa limite de hauteur;

(1) On peut présumer cette perte en donnant, dans la valeur de F', une valeur probable à n', telle que

$$n' = 0, \quad n' = -3^\circ, \quad n' = -4^\circ,$$

selon que h', qui est connu (sauf la correction), se trouve plus ou moins grand.

de sorte que dans l'exemple précédent, il devrait partir avec une force ascensionnelle de $8616^{k},16$ (1),

---

(1) Cette perte de force ascensionnelle serait beaucoup plus considérable si la différence de température était plus grande que dans le dernier exemple. Ainsi, soit

$$n = 20^{\circ}, \quad n' = -10^{\circ}, \quad \text{et} \quad h = 0,76\,;$$

pour le départ, on a

$$\begin{aligned} F &= 5488000\left(1 - \frac{20^{\circ}}{266,6 + 20^{\circ}}\right)^{1,21} - M \\ &= 5488000\,(0,931)^{1,2} - M\,; \end{aligned}$$

et pour la limite de hauteur,

$$\begin{aligned} F' &= 5488000\left(1 - \frac{20^{\circ}}{266,6 - 10^{\circ}}\right)^{1,21} - M \\ &= 5488000\,(0,923)^{1,2} - M\,; \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} F - F' &= 5488000\,(0,008)^{1,21} \\ &= 5488000\,(0,0096) = 52684^{k},8. \end{aligned}$$

Tandis que pour un ballon de $1000^{mc} = C$, on a alors

$$F - F' = 9^{k},6 \text{ seulement.}$$

Ainsi un ballon où $C = 5488000^{mc}$, et qui aurait été réglé à 0,76 et à $n = 20^{\circ}$, perdrait $52684^{k},8$ de sa force ascensionnelle, lorsque $n' = -10^{\circ}$, h restant constant. On pourrait appliquer cette force descensionnelle comme force motrice gratuite.

ce qui lui donnerait une rapidité effrayante, si la résistance de l'air ne venait la modérer en agissant proportionnellement au carré de la vitesse et à la projection du ballon sur un plan perpendiculaire à la direction du mouvement (voir *Mécanique* de PONCELET, page 543, pour la valeur de cette résistance, et ce que nous en avons dit dans la 4e condition).

En résumé, les formules aéronautiques des ballons actuels, c'est-à-dire sans pression intérieure, sont :

Pour le départ ou pour le moment du règlement de l'appareil,

$$F = C\frac{h}{0,76}\left(\frac{1,21}{1+0,00375.n}\right) - M;$$

pendant l'ascension ou à terre, pour un changement de température en supposant $R' = 0$,

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1^k,21 - M - R';$$

à la limite de hauteur,

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1^k,21 - M = 0,$$

et

$$h' = \frac{a}{b}h[1+(n'-n)0,00375];$$

à un instant quelconque,

$$C' = C\frac{h}{h'}[1 + (n' - n)\,0{,}00375],$$

en supposant

$$C = \frac{a}{b}V,$$

V étant la capacité du ballon complétement gonflé, C la portion de V occupée par le gaz au moment du règlement de l'appareil. V et C par conséquent sont connus à un instant quelconque; C′ est la nouvelle valeur que prend C, par suite des variations thermométriques et barométriques, soit à terre, soit en l'air, et h' la variation survenue dans la hauteur du baromètre correspondante à n'.

Dans toutes ces équations, C, h, n sont connus; n' est connu par l'observation; h' maximum et C′ sont donnés par les équations précédentes en y introduisant les valeurs de C, h, n, n' et de h' provenant de l'observation.

La deuxième formule peut être considérée comme renfermant la première [*voir* la note (2) de la page 262], en faisant $n' = n$; et la troisième en faisant $F' = 0$: par conséquent cette seconde formule est réellement l'équation générale, et l'on peut donner à R′ sa valeur (*voir* la note de la page 70) :

$$R' = \frac{h'}{0{,}76}\cdot\frac{1^{k},2991}{1 + 0{,}00375.n'}\cdot K\,A\,\frac{v^2}{19{,}6176}.$$

Alors on a

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6 + n'}\right)1^{k},21 - M$$
$$- \frac{h'}{0,76} \cdot \frac{1,2991}{1 + 0,00375.n'} \cdot KA\frac{v^2}{19,6176}$$

pour l'équation générale du mouvement du ballon.

Telles sont les équations de l'aérostation actuelle, c'est-à-dire de l'aérostation sans pression intérieure, la seule dont on ait fait usage jusqu'à ce jour. Il est inutile de répéter ici que ces équations sont indispensables pour calculer les différentes probabilités d'une ascension.

Maintenant examinons celles de l'aérostation avec pression intérieure; et pour nous exercer, nous étudierons d'abord le cas imaginaire et impossible d'un aérostat qui serait capable de supporter une pression intérieure de 1 atmosphère; nous disons que ce cas est imaginaire et impossible, puisque nous avons démontré (4e condition) qu'il n'y avait pas d'enveloppe d'aérostat susceptible d'ascension qui puisse supporter une pression de plus de $0^{m},01$ de mercure au manomètre à air libre, ou de $\frac{1}{76}$ d'atmosphère.

§ 2.

Aérostation avec pression intérieure pouvant aller jusqu'à 1 atmosphère.

Formules aéronautiques d'un aérostat avec pression intérieure, où l'enveloppe serait supposée suffisamment résistante pour pouvoir supporter une pression intérieure de 1 atmosphère, et où le ballon partirait de terre complétement plein d'hydrogène et s'élèverait sans perte de gaz, c'est-à-dire avec une pression intérieure qui croîtrait en raison de la hauteur.

Nous avons démontré (4e condition) que la pression intérieure doit être très-petite et plus petite que $0^m,01$; par conséquent l'hypothèse d'une pression intérieure pouvant croître jusqu'à 1 atmosphère est impraticable, et nous ne l'examinons ici que pour nous familiariser avec ce genre de calculs.

L'équation générale du ballon est

$$F = C(p - p') - M - R.$$

Ici C = V est la capacité totale du ballon.

Remplaçant p et p' par leur valeur, on aura, pour la valeur de F, à terre,

$$F = C\frac{h}{0,76}\left(\frac{1,2}{1 + 0,00375.n}\right) - M,$$

comme dans le cas précédent.

Aussitôt que le ballon aura quitté terre, l'équi-

libre entre la pression intérieure et extérieure sera rompu, et il se déclarera un excès de pression dans l'aérostat, puisque la pression extérieure aura diminué; tandis qu'à l'intérieur, la pression restera constante. Dans ce cas, on aura

$$p = \frac{h'}{0,76} \cdot \frac{1^{k},2991}{1+0,00275.n'},$$

h' étant la hauteur du baromètre, et n' celle du thermomètre pendant l'ascension; et

$$p' = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{0,089}{1+0,00375.n},$$

comme à terre (1).

Remplaçant dans l'équation générale, on aura, pendant l'ascension,

$$F' = C\left(\frac{h'}{0,76} \cdot \frac{1^{k},2991}{1+0,00375.n'} - \frac{h}{0,76} \cdot \frac{0,089}{1+0,00375.n}\right) - M - R'.$$

En faisant

$$h' = h \quad \text{et} \quad n' = n,$$

cette formule redevient la première.

Il reste à joindre aux équations précédentes

(1) Le poids p' ne varie pas; car il faudrait pour cela qu'il y eût changement dans le volume du ballon : or, par hypothèse, l'enveloppe est invariable. Il ne pourrait varier qu'à terre, lorsque h et h' étant à peu près égaux à 0,76, n' serait plus petit que n, circonstance qui n'aura pas lieu dans l'ascension, puisque h' est toujours plus petit que h.

celle de la pression intérieure mesurée au manomètre à air libre. Cette pression intérieure se compose de la différence des pressions barométriques à terre et en l'air $(h - h')$, plus de l'effet de la variation de température sur le gaz renfermé :

$$[(n' - n)\,0{,}00375 . 0{,}76]\,(*).$$

Nous supposons que la transmission de la température extérieure à l'intérieur soit instantanée; par conséquent, que n' soit le même au dedans qu'au dehors.

En désignant par H^m la pression manométrique intérieure, on aura

$$H^m = (h - h') + (n' - n)\,0{,}00375 . 0{,}76.$$

(*) C mètres cubes de gaz à n^o deviennent, à n'^o (le baromètre marquant 0,76),

$$C[1 + (n' - n)\,0{,}00375].$$

Or, si dans C mètres cubes de gaz à n^o et à 0,76 on fait entrer avec pression C mètres cubes nouveaux (l'enveloppe étant invariable), le manomètre à air libre indiquera 0,76; d'où l'on a, en n'y faisant entrer que $(n' - n)\,0{,}00375 . C$, qui est l'effet de la variation de température,

$$C : 0{,}76 :: (n' - n)\,0{,}00375 . C : x,$$

d'où

$$x = (n' - n)\,0{,}00375 . 0{,}76.$$

En résumé, les formules aéronautiques d'un ballon à pression intérieure, dans l'hypothèse imaginaire que cette pression pourrait aller jusqu'à 1 atmosphère sans endommager l'enveloppe, seraient : à terre,

$$F = C\frac{h}{0,76}\left(\frac{1,2}{1+0,00375.n}\right) - M;$$

pendant l'ascension,

$$F' = C\left(\frac{h}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{1+0,00375.n'} - \frac{h}{0,76}\cdot\frac{0,089}{1+0,00375.n}\right) - M - R';$$

à la limite de hauteur,

$$F' = C\left(\frac{h}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{1+0,00375.n'} - \frac{h}{0,76}\cdot\frac{0,089}{1+0,00375.n}\right) - M = 0,$$

et pour la pression intérieure,

$$H^m = (h - h') + (n' - n)\,0,00375.0,76.$$

La deuxième équation peut être considérée comme l'équation générale; on pourrait y introduire la valeur de R', comme nous l'avons fait pour l'aérostat sans pression intérieure; mais c'est inutile, puisque, nous le répétons, ce cas est imaginaire.

Examinons maintenant le cas d'un aérostat à pression intérieure très-faible, telle que Meusnier l'a conçue dans son projet (*voir* 5e condition la description de ce projet).

§ 3.

Aérostation avec pression intérieure très-faible de $0^m,0001$ *au manomètre;* projet de Meusnier.

Le ballon est composé d'une enveloppe intérieure flexible C (*fig.* 46) contenant le gaz, variable de volume et renfermée dans une autre grande enveloppe V, invariable de volume. L'intervalle entre les deux enveloppes (V — C) est rempli par de l'air légèrement comprimé à une pression que nous supposerons de $0^m,0001$; cette pression se transmet au gaz renfermé dans l'enveloppe flexible, de sorte que l'intérieur de l'appareil sera constamment à une pression de $0^m,0001$ plus forte que la pression extérieure.

Quelle est la formule de la force ascensionnelle en pareil cas?

En nous servant des mêmes signes représentatifs que dans les exemples précédents, on aura (les données thermométriques étant n, n', et les données barométriques, h, h') :

		A TERRE.	EN L'AIR.
Poids du mètre cube	d'air	$p = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1+0,00375.n}$	$= \frac{h'}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1+0,00375.n'}$
	de gaz	$p' = \frac{h}{0,76} \cdot \frac{0^k,089}{1+0,00375.n}$	$= \frac{h'}{0,76} \cdot \frac{0^k,089}{1+0,00375.n'}$
	d'air comprimé à $0^m,0001$.	$P = \frac{h+0^m,0001}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1+0,00375.n}$	$= \frac{h'+0^m,0001}{0,76} \cdot \frac{1^k,2991}{1+0,00375.n'}$

Nous supposerons, pour simplifier les calculs, que la température de l'extérieur soit la même qu'à l'intérieur, ce qui n'aurait pas lieu précisément si l'enveloppe invariable était d'une substance peu conductrice, comme le carton (1).

n et h sont connus à terre au moment où le rapport de C à V sera aussi connu; nous supposerons $C = \frac{a}{b} V$.

(1) Nous ne tenons pas compte de l'air déplacé par l'épaisseur des deux enveloppes, qui ne laisserait pas cependant que d'avoir une certaine importance dans les grandes dimensions.

Il est évident qu'on aura pour expression de la force ascensionnelle de l'appareil en l'air, à l'instant où n' et h' seront les valeurs des hauteurs du thermomètre et du baromètre, et C' le volume du gaz à cet instant :

$$F' = C'\left(\underbrace{\frac{h'}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{1+0,00375.n'}}_{\text{Poids de l'air déplacé par le gaz.}} - \underbrace{\frac{h'+0,0001}{0,76}\cdot\frac{0,089}{1+0,00375.n'}}_{\text{Poids du gaz.}}\right)$$

$$-(V-C')\underbrace{\left(\frac{h'+0,0001}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{1+0,00375.n'} - \frac{h'}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{1+0,00375.n'}\right)}_{\text{Poids provenant de l'excès de pression de l'air enfermé entre les deux enveloppes.}} - M - R',$$

M représentant le poids constant des deux enveloppes, des filets, agrès et du chargement;

V le volume de la double enveloppe ou du ballon intérieur complétement gonflé;

C le volume de gaz à n et h;

C' la valeur de C correspondante à n' et h';

R' la résistance qu'oppose l'air au mouvement de l'appareil;

F' la force ascensionnelle ou le poids nécessaire pour le retenir captif.

En effectuant les calculs dans les deux premiers termes de l'équation ci-dessus, on aura

$$\frac{C'[h'(1,2991-0,089)-0,0001.0,089]-(V-C')0,0001.1,2991}{0,76(1+0,00375.n')}$$

$$=\frac{C'(h'.1,21-0,0001.0,089)-V0,0001.1,2991+C'0,0001.1,2991}{0,76(1+0,00375.n')}$$

$$=\frac{C'[h'.1,21+0,0001(1,2991-0,089)]-V0,0001.1,2991}{0,76(1+0,00375.n')}$$

et

$$F' = \frac{C'(h' + 0,0001)\,1,21 - V\,0,0001 \,.\, 1,2991}{0,76\,(1 + 0,00375 \,.\, n')} - M - R'.$$

Dans cette équation, C′ est inconnu, nous ne connaissons que $C = \frac{a}{b}V$. On trouverait donc comme précédemment (*voir* § 1, aérostation sans pression intérieure) :

$$C' = C\frac{h + 0,0001}{h' + 0,0001}\,[1 + (n' - n)\,0,00375].$$

Remplaçant C′ par sa valeur, on a pour la fraction de F′,

$$\frac{C\frac{h + 0,0001}{h' + 0,0001}[1 + (n' - n)\,0,00375](h' + 0,0001)\,1,21 - V\,0,0001 \,.\, 1,2991}{0,76\,(1 + 0,00375 \,.\, n')}$$

ou

$$F' = C\,\frac{h + 0,0001}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6 + n'}\right)1,21$$
$$- V\,\frac{0,0001}{0,76} \,.\, \frac{1,2991}{(1 + 0,00375 \,.\, n')} - M - R' \text{ (*)}.$$

Telle est l'équation du mouvement du ballon de Meusnier. On voit que, comme dans les ballons sans pression intérieure, h' n'y figure pas, que n' seul joue un rôle pendant l'ascension, et

---

(*) $$\frac{1 + (n' - n)\,0,00375}{1 + 0,00375\,n'} = 1 - \frac{n\,0,00375}{1 + 0,00375 \,.\, n'}$$
$$= 1 - \frac{n}{\frac{1}{0,00375} + n'} = 1 - \frac{n}{266,6 + n'}.$$

que la diminution de n', lorsque n est positif, diminue la force ascensionnelle jusqu'à ce qu'elle s'annule. Les conclusions sont donc les mêmes que celles que nous avons rapportées à propos de l'aérostation sans pression intérieure.

Pour bien voir les rapports qui existent entre les valeurs de F′ dans ces deux genres d'aérostation, il faut mettre F′ sous la forme suivante dans l'équation ci-dessus :

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1,21 + C\frac{0,0001}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1,21$$
$$- V\frac{0,0001}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{(1+0,00375.n')} - M - R';$$

$$F' = C\frac{h}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1,21 - \frac{0,0001}{0,76}$$

Poids de l'air de V — C à n' et 0,0001. Poids du gaz à n' et 0,0001

$$\times\frac{(V - C[1+(n'-n)0,00375])1,2991 + C[1+(n'-n)0,00375]0,089}{1+0,00375.n'} - M - R' (*).$$

$$(*) - \frac{0,0001}{0,76}\left[\frac{V.1,2991}{1+0,00375.n'} - C\left(1 - \frac{n}{266,6+n'}\right)1,21\right]$$
$$= -\frac{0,0001}{0,76}\left\{\frac{V.1,2991 - C[1+(n'-n)0,00375]1,21}{1+0,00375.n'}\right\};$$

or

$$1,21 = 1,2991 - 0,089;$$

donc on a

$$= -\frac{0,0001}{0,76}\left[\frac{V.1,2991 - C(1,2991 - 0,089)(1+(n'-n)0,00375}{1+0,00375.n'}\right]$$
$$= -\frac{0,0001}{0,76}\cdot\frac{V.1.2991 - (C.1,2991 - C.0,089)[1+(n'-n)0,00375]}{1+0,00375.n'}$$
$$= -\frac{0,0001}{0,76}$$
$$\times\frac{1,2991(V - C[1+(n'-n)0,00375]) + C.0,089[1+(n'-n)0,00375]}{1+0,00375.n'}.$$

On voit clairement, d'après cette équation, que la force ascensionnelle du double aérostat de Meusnier est égale à celle qu'aurait le ballon flexible plein de gaz s'il était sans pression intérieure, dégagé de sa double enveloppe, et si sa force ascensionnelle était diminuée : 1° du poids de l'air compris entre les deux enveloppes à n' et à 0,0001 de pression, et du poids de l'hydrogène dans les mêmes circonstances; 2° de celui de la double enveloppe.

On aurait d'ailleurs, comme dans l'aérostation sans pression intérieure, pour la valeur de h' à la limite de hauteur, en supposant $C = \frac{a}{b}V$,

$$0,0001 + h' = \frac{a}{b}(h + 0,0001)[1 + (n' - n)\,0,00375].$$

Mais en général $h' + 0,0001 = \frac{a}{b}(h + 0,0001)$, le reste pouvant être considéré comme une correction.

On voit, d'après l'équation générale des ballons à pression intérieure très-faible, du projet de Meusnier,

$$F' = C\,\frac{h + 0,0001}{0,76}\left(1 - \frac{n}{266,6 + n'}\right)^{1,21}$$
$$- V\,\frac{0,0001}{0,76} \cdot \frac{1,2991}{(1 + 0,00375.n')} - M - R' \text{ (*)},$$

(*) On pourrait, en effectuant le calcul, mettre cette équa-

que, lorsque n est positif, F′ croît ou décroît avec n'; lorsqu'il est négatif, F′ décroît ou croît avec n': par conséquent, on pourrait tirer les mêmes conséquences que nous avons établies pour le ballon sans pression intérieure.

Enfin, il y a des spéculations à faire sur les effets de température à l'égard de la force ascensionnelle.

Ainsi, je suppose qu'on veuille avoir une force ascensionnelle gratuite à terre pour l'appliquer à soulever à une petite hauteur, et transporter à une courte distance un poids; je réglerai mon appareil à $n = +1$ degré le matin: alors la chaleur s'élevant à mesure que le soleil monte sur l'horizon, n' croîtra, et par conséquent F′ aussi.

Exemple. — Soit

$$n = 1^\circ, \quad h = 0{,}76, \quad C = 5488000 = \tfrac{3}{4}\,V \quad n' = 20^\circ;$$

---

tion sous la forme

$$F' = C\left[\frac{h + 0{,}0001}{0{,}76}\left(1 - \frac{n}{266{,}6 - n'}\right)^{1{,}21} - \frac{b}{a}\,\frac{0{,}00017}{1 + 0{,}00375.n'}\right] - M - R',$$

C étant égal à $\frac{a}{b}$ V et $\frac{0{,}00012991}{0{,}76} = 0{,}00017$.

on aura, le matin, $n' = n = 1^\circ$ et en négligeant $0^m,0001$,

$$F = 5488000\left(1 - \frac{1}{266,6+1}\right)^{1,21}$$
$$- \tfrac{4}{3}\,5488000\,\frac{0,0001}{0,76}\cdot\frac{1,2991}{(1+0,00375.1)} - M,$$

ou

$$= 5488000\left[(0,9963)^{1,21} - \tfrac{4}{3}\frac{0,00012991}{0,76\,(1+0,00375)}\right] - M(^*);$$

et à trois heures du soir, $n' = 20^\circ$ et

$$F' = 5488000\left[(0,9966)^{1,21} - \tfrac{4}{3}\frac{0,00012991}{0,76\,(1+0,00375.20)}\right] - M(^{**});$$

d'où l'on aura, pour la force gratuite obtenue par la variation de température,

$$F' - F = 5488000\,(1,21.0,0003 + 0,00015)$$
$$= 5488000.0,000378 = 2074^k,464.$$

On trouverait avec la même facilité l'équation du ballon à compresseurs, que j'ai proposé dans la 4e condition.

(*) $\tfrac{4}{3}\dfrac{0,00012991}{0,76} = 0,00022$; d'où $\dfrac{0,00022}{1,00375} = 0,000219$.

(**) On aura de même

$$\frac{0,00022}{1+0,00375.20} = \frac{0,00022}{1,075} = 0,000204.$$

Nous terminerons là ce que nous avions à dire sur les formules aéronautiques, en laissant à chacun le soin de se familiariser avec ce genre de calculs. Les exemples que nous venons de donner indiqueront suffisamment la marche à suivre dans chaque cas particulier.

Ce qui précède fera comprendre, nous le croyons, toute l'utilité de ces calculs pour pouvoir se rendre compte des effets des variations barométriques et thermométriques, et montrer combien il serait imprudent de vouloir s'occuper sérieusement d'aérostation, si l'on n'en possédait pas les formules.

NOTE V.

TABLES DIVERSES NÉCESSAIRES A L'AÉRONAUTE.

TABLE I.

Force perpendiculaire du vent sous différentes vitesses, en livre avoirdupois, *sur chaque pied* (*anglais*) *carré de surface plane.* (Extrait des expériences de MM. Rouse et Smeaton.)

MILLES par heure.	PRESSION par pied.	MILLES par heure.	PRESSION par pied.
	lb		lb
1	0,005	35	6,027
2	0,020	40	7,873
3	0,044	45	9,963
4	0,070	50	12,300
5	0,123	55	14,885
6	0,178	60	17,715
7	0,242	65	20,791
8	0,315	70	24,100
9	0,399	75	27,646
10	0,492	80	31,490
15	1,107	85	35,550
20	1,968	90	39,850
25	3,075	95	44,401
30	4,429	100	49,200

1 mètre = 3,28 feets ou pieds anglais;

1 mille = $1609^{m},3149$;

1 foot ou pied anglais = $0^{m},305$, et 1 pied anglais carré = $0^{mq},093$;

1 pound avoirdupois ou 1 livre avoirdupois = $0^{k},4534$.

Exemples de calcul.

30 milles par heure ou 48270^{m} par heure ou $13^{m},4$ par seconde	donnent	$4^{lb},429$ ou 2^{k} environ ou 20^{k} environ	par pied anglais carré, par mètre carré	ou $0^{m},0014$ de mercure (*).
100 milles par heure ou $160931^{m},49$ par h. ou 44^{m} par seconde	donnent	$49^{lb},200$ ou $22^{k},31$ env. ou 240^{k} environ	par pied anglais carré, par mètre carré	ou $0^{m},017$ de mercure (**).

Les résultats donnés par cette Table ne sont pas précisément d'accord avec ceux que présente la Table de la page 206, tome I, des *Éléments de Physique*, par M. Pouillet (édition de 1844).

(*) Par la proportion suivante:

$$10330^{k} : 0^{m},76 :: 20^{k} : x; \quad \text{d'où} \quad x = 0^{m},0014.$$

(**) $10330^{k} : 0^{m},76 :: 240^{k} : x$; d'où $x = 0^{m},017$.

TABLE II.

Hauteurs correspondantes aux hauteurs barométriques. Cette Table peut servir dans toute la France sans erreur notable. (Extrait du *Journal de Physique*, tome LXXII, page 287; 1811.)

BAROMÈTRE.	HAUTEUR.	DIFFÉRENCE.	BAROMÈTRE.	HAUTEUR.	DIFFÉRENCE.
centim.	mètres	mètres	centim.	mètres	mètres
77	0	103	55	2685	144
76	104	104	54	2831	146
75	210	106	53	2980	149
74	317	107	52	3132	152
73	425	108	51	3287	155
72	535	110	50	3445	158
71	647	112	49	3607	162
69	875	115	48	3772	165
68	992	117	47	3940	168
67	1110	118	46	4112	172
66	1230	120	45	4287	176
65	1352	122	44	4466	179
64	1476	124	43	4650	184
63	1601	125	42	4838	188
62	1728	127	41	5031	193
61	1858	130	40	5228	197
60	1990	132	39	5430	202
59	2124	134	38	5678	208
58	2261	137	37	5851	213
57	2400	139	36	6070	219
56	2541	141			

Dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, on trouvera des Tables pouvant servir au même objet.

TABLE III.

Constitution atmosphérique, par M. Biot. (Extrait de la *Connaissance des Temps* pour l'année 1841.) — *Observations du voyage aérostatique de M. Gay-Lussac.*

(Tableau primitif des observations.)

TEMPÉRATURE en degrés de thermomètre centésimal.	MOYENNE des indications des deux hygromètres.	HAUTEUR MOYENNE du baromètre dans l'atmosphère, ramenée à celle d'un baromètre à niveau constant.	HAUTEURS CORRESPONDANTES au-dessus de l'Observatoire de Paris, calculées par la formule barométrique de Laplace.
°	°	m	m
+ 30,75	57,5	0,76568	0,00
12,50	62,0	0,5381	3032,01
11,00	— 50,0	0,5143	3412,11
8,50	37,3	0,4968	3691,31
10,50	33,0	0,4905	3816,79
		0,4528	4511,61
12,00	30,9	0,4666	4264,65
11,00	29,5	0,4626	4327,86
8,25	27,6	0,4404	4725,90
6,50	— 27,5	0,4353	4808,74
8,75	29,4	0,4528	4511,61
5,25	30,1	0,4249	5001,85
4,25	27,5	0,4114	5267,73
2,50	32,7	0,3985	5519,16
0,50	30,2	0,3901	5674,85
1,00	33,0	0,4141	5175,06
— 3,00	32,4	0,3717	6040,70
— 1,50	32,1	0,3696	6107,19
0,00	35,1	0,3918	5631,65
— 3,25	33,9	0,3670	6143,31
— 7,00	34,5	0,3339	6884,14
— 9,50	.....	0,3288	6977,37

Relation d'un voyage aérostatique fait par M. Gay-Lussac le 29 fructidor an XII, lue à l'Institut national le 9 vendémiaire an XIII. (Extrait du tome LII, page 75, des *Annales de Chimie* ou *Recueil de Mémoires*, etc.)

M. Gay-Lussac partit à $9^h 40^m$ du Conservatoire des Arts et Métiers, le baromètre étant à $76^m,525$; l'hygromètre à 57 degrés, et le thermomètre à $27^\circ,75$.

Page 84. « En fixant les yeux sur le tableau, » on voit d'abord que la température suit une » loi irrégulière, relativement aux hauteurs cor- » respondantes, ce qui provient sans doute de » ce qu'ayant fait des observations tantôt en » montant, tantôt en descendant, le thermo- » mètre aura suivi trop lentement ces variations. » Mais si l'on ne considère que les degrés du » thermomètre qui forment entre eux une série » continue décroissante, on trouve une loi plus » régulière. Ainsi la température à terre étant » de $27^\circ,75$, et à la hauteur de 3691 mètres, de » $8^\circ,50$, si l'on divise la différence des hauteurs » par celle des températures, on obtient d'abord » $191^m,7$ d'élévation pour chaque degré d'abais- » sement de température. En faisant la même » opération pour les températures $5^\circ,25$ et $0^\circ,5$,

» ainsi que pour celles 0°,0 et —9°,5, on trouve,
» dans l'un et l'autre cas, 141^{m},6 d'élévation
» pour chaque degré d'abaissement de tempé-
» rature, ce qui semble indiquer que vers la sur-
» face de la terre, la chaleur suit une loi moins
» décroissante que dans le haut de l'atmosphère,
» et qu'ensuite, à de plus grandes hauteurs, elle
» suit une progression arithmétique décroissante.
» Si l'on suppose que depuis la surface de la
» terre, où le thermomètre était à 30°,75, jusqu'à
» la hauteur 6977 mètres, où il était descendu à
» —9°,5, la chaleur a diminué comme les hau-
» teurs ont augmenté; à chaque degré d'abais-
» sement de température, correspond une éléva-
» tion de 173^{m},3. »

A 3^{h} 11^{m} M. Gay-Lussac songea à redescendre avec 15 kilogrammes de lest, le thermomètre étant à —9°,5, et le baromètre à 0^{m},3283.

A 3^{h} 45^{m} l'ancre tombait à terre et se fixait; ce qui donne trente-quatre minutes pour le temps de la descente.

Les habitants d'un petit hameau (Saint-Gourjon, à 24 kilomètres nord-ouest de Rouen) prêtèrent toute assistance au jeune aéronaute.

TABLE IV.

Volumes et diamètres de quelques ballons, d'après M. Francœur (Dictionnaire technologique, tome I, page 179), *et d'après l'auteur.*

DIAMÈTRES en mètres.	VOLUMES en mètres cubes.	SURFACE en métr. carrés.	KILOGRAMMES que le gaz peut enlever.	POIDS de l'enveloppe en kilogrammes.	FORCE ascensionnelle et poids des agrès.	OBSERVATIONS.
1	0,52	3,14	0,62	0,78	0,16	Ne peut s'enlever.
2	4,19	12,57	5,03	3,14	1,89	En général, pour qu'un ballon puisse au moins être en équilibre, il faut que le poids que le gaz peut enlever soit égal au poids de l'enveloppe; ainsi, dans le cas ci-dessus, il faudrait que 0,62 fût le poids de l'enveloppe, au lieu de 0,78. D'où $\frac{0,62}{3,14} = 0,2$ kilog. donne le poids du mètre carré de l'enveloppe pour qu'elle satisfasse à la condition d'équilibre.
4	33,51	50,27	40,21	12,57	27,65	
6	113,10	113,10	135,72	28,27	107,44	
7	179,59	153,94	215,51	38,48	177,03	
8	268,08	201,06	321,70	52,01	269,69	
9	381,70	254,47	458,04	63,62	394,42	
10	523,60	314,16	622,32	78,54	549,78	
11	696,91	380,13	836,29	95,03	781,26	
12	904,78	452,39	1085,76	113,10	972,84	
13	1150,35	530,93	1380,42	132,73	1247,69	D'après la Table de la deuxième condition et en supposant le mètre carré d'étoffe pesant 0,9 kil. au lieu de 0,25 kil., comme ci-dessus.
20	4190^{m}	1256	5030	1130	3900	
200	4190000^{m}	125600	5030000	113000	4917000	

TABLE V.

Des vitesses du vent.

DÉSIGNATIONS.	VITESSE PAR		
	seconde.	heure.	24 heures.
	m	m	m
Vent à peine sensible...	0,5	1,800	43,200
Vent sensible.....	1,0	3,600	86,400
Vent modéré.....	2,0	7,200	172,800
Vent assez fort.....	5,5	19,800	475,200
Vent fort.....	10,0	36,000	864,000
Vent très-fort.....	20,0	72,000	1728,000
Tempête.....	22,5	81,000	1944,000
Grande tempête.....	27,0	97,200	2332,800
Ouragan.....	36,0	129,600	3110,400
Ouragan qui renverse les édifices et déracine les arbres..	45,0	162,000	3888,000

NOTE VI.

EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE D'UNE FEUILLE DE CUIVRE DE 1 MÈTRE CARRÉ ET D'UNE ÉPAISSEUR DE $0^m,0001$; RUPTURE A 2284 KILOGRAMMES.

Je fis souder ensemble deux feuilles de cuivre de $0^m,50$ de largeur sur $1^m,30$ de longueur, ce qui produisit une feuille large de 1 mètre et longue de $1^m,30$, sur une épaisseur de $0^m,0001$. Je fis enrouler les deux extrémités de la longueur sur deux rouleaux de bois, de manière à laisser entre eux 1 mètre de distance, la soudure allant d'un rouleau à l'autre, et la surface comprise entre eux étant de 1 mètre carré qu'il fallait éprouver. On plaça les rouleaux sur deux madriers sur champ où on les fixa à l'aide de deux chevilles de fer (*fig.* 47) traversant chaque extrémité du rouleau (hors du cuivre) et le madrier; il en résultait que le mètre carré entre les madriers pendait en forme de surface cylindrique. Pour me rapprocher, autant que possible, de ce qui devait se passer dans le ballon sphérique de 5 mètres de rayon que je devais construire, je plaçai les

deux madriers de manière que la courbure du mètre pendant fût celle d'un cylindre de 5 mètres de rayon; deux traverses rendaient fixes ces madriers. Je procédai ensuite au chargement du mètre carré de cuivre.

Pour que la charge portât également sur toute la surface, à l'instar de la pression intérieure de notre ballon, le cuivre fut couvert de sciure de bois (*fig.* 48), de manière à dépasser de quelques centimètres le niveau des deux rouleaux, les traverses empêchant cette sciure de tomber entre les madriers. On mit ensuite un premier lit de douelles en bois parallèle aux rouleaux, puis un autre lit perpendiculaire, puis un troisième parallèle, et par-dessus l'on posa 500 kilogrammes de poids en fonte et 500 kilogrammes de tuyaux de plomb. Étonné de ne pas voir le cuivre rompre sous un tel poids, je crus un moment que quelques douelles portaient sur les madriers. Je fis décharger et visiter l'état des choses; mais je ne vis rien. Cependant, pour plus de sûreté, on raccourcit les douelles perpendiculaires; on rechargea de 500 kilogrammes de fonte et 500 kilogrammes de plomb (à défaut de poids); enfin l'on ajouta des grandes barres de fer de 5 mètres de long, que je fis peser avec soin après l'expérience, et ce ne fut qu'à 2 284 kilogrammes

que toute cette masse de plomb, de fonte et de fer qui était en équilibre tomba subitement avec grand fracas, mais sans perdre cet équilibre; ce qui prouve que la rupture s'était faite bien en même temps près de chaque rouleau : il y avait, en effet, deux déchirures, près de chacun d'eux, qui avaient permis à la surface de cuivre de se détacher et avaient déterminé la chute. Les deux rouleaux, ramenés en dedans par la soudure qui avait résisté mieux que le reste du cuivre (en raison de son épaisseur), avaient fléchi et étaient, au centre, rentrés de $0^m,01$ à $0^m,02$; il est probable que cette soudure portait une grande partie de la charge, ce qui a fait que la rupture a eu lieu à un poids si élevé au-dessus de 1 400 kilogrammes primitivement calculés comme minimum de la limite de résistance.

Ainsi, en observant que le poids de 1 400 kilogrammes est un minimum de résistance, et le poids de 2 284 kilogrammes un maximum, en raison de la soudure, on pourra en conclure que les deux résultats sont à peu près concordants et que l'épreuve par les rubans est une manière simple et sûre d'éprouver la résistance d'une matière d'enveloppe, dont elle indique le minimum de résistance.

NOTE VII.

DES POISSONS, DES OISEAUX, DES INSECTES AILÉS DANS LEURS RAPPORTS AVEC LES AÉROSTATS.

Des poissons dans leur rapport avec les aérostats.

On a souvent, et avec raison, comparé les ballons aux poissons. Les uns et les autres, en effet, se meuvent et flottent, complétement immergés, dans un fluide plus pesant qu'eux-mêmes. Il est donc utile d'étudier la nature de ces derniers dans ce qu'elle peut avoir de commun avec les premiers et de rapporter ici quelques extraits du *Dictionnaire des Sciences naturelles*, de Levrault (article Poissons, t. XLII).

Des organes du mouvement chez les poissons.

Page 150. « Un grand nombre d'espèces portent » immédiatement sous l'épine une vessie pleine » d'air qui, en se comprimant ou en se dilatant, » fait varier la pesanteur spécifique et aide l'ani- » mal à monter et à descendre dans l'eau.

» La progression s'exécute chez tous en géné-

» geoires du dos, de l'anus et de la queue, et
» déploie ensuite sa queue avec une si grande
» vitesse, que la résistance du fluide, en absor-
» bant une partie de la vitesse, tient lieu d'un
» appui solide qui oblige l'animal à se lancer en
» avant avec le reste de la vitesse, et d'autant
» plus facilement, que sa queue, ce puissant
» gouvernail, étant redevenue droite, il ne pré-
» sente plus au fluide qui résiste que la largeur
» la moins considérable de son corps.

» Comme la queue doit être de nouveau
» ployée pour frapper un second coup, une
» résistance en sens contraire, égale à l'excès
» de la vitesse imprimée, anéantirait le mou-
» vement si les surfaces restaient les mêmes;
» mais, pour obvier à cet inconvénient, les na-
» geoires du dos et de l'anus se couchent contre
» le corps comme autant de rames et d'avirons
» utiles à propos, tandis que celle de la queue
» se serre et se rétrécit, et la flexion s'opère
» ainsi avec beaucoup plus de lenteur que le
» développement, qui est subit et violent. Ce
» n'est qu'après avoir passé par la ligne droite
» que la queue se ploie une deuxième fois, et
» précisément en sens contraire; en sorte que
» l'impulsion instantanée qui en résulte, ayant
» une obliquité égale, mais opposée à celle qui

» Les catopes manquent dans les apodes, » comme les anguilles, congres, etc. Ils sont » implantés sous la gorge, en avant des na- » geoires pectorales dans les poissons jugulaires, » comme les morues, les merlans, les vives, etc.; » ils sont placés en arrière et au-dessous dans les » poissons thoraciques.

» Le plus souvent, ils pendent au-dessous du » ventre, plus près de l'anus que des nageoires » pectorales. Tous les poissons abdominaux, les » carpes, les barbeaux, les ablettes, etc., sont » en particulier dans ce cas. »

On appelle *muscle latéral* l'ensemble des fibres qui font mouvoir la queue; et *carène dorsale* ou *ventrale* la partie où s'attache la queue, soit du côté du dos, soit du côté du ventre.

Page 160. « Les poissons se meuvent avec une » excessive facilité. Ceux d'entre eux qui s'ac- » quittent le mieux de cette fonction sont ceux » qui ont le corps un peu allongé et médiocre- » ment comprimé, la peau lisse et glissante, le » museau pointu et les nageoires pectorales bien » développées.

» Quand le poisson veut se porter en avant, » il place sa queue en deux sens différents et, » pour ainsi dire, en S, par le moyen des » muscles latéraux de l'épine, étend ses na-

Tourner horizontalement. — Supposons que le poisson veuille, par exemple, tourner la tête T à droite. Il est évident qu'il faudra que la partie IL tourne à gauche vers K″, autour de L comme axe. Pour atteindre ce résultat, nous disons que le poisson devra donner le coup de queue à droite, avec force en allant, et laisser revenir sans force la queue dans l'axe.

En effet, soient IO une direction de la queue, et OP′ la force qui la tire : il en résulte, par la décomposition, deux forces, BO et OC, qui agissent d'une manière contraire à l'autre extrémité du couple P′OIO et donnent IC′ et IB′.

IC′ fait reculer et IB′ tire I en K″. Il faut donc que IC′ (l'effet inutile) soit le plus petit possible, et IB′ (l'effet utile) le plus grand possible. C'est ce qu'on obtiendra en rendant l'angle OIK le plus petit possible; alors IC′ sera presque nul et IB′ presque égal à IO′ = OP′ la force motrice : alors I et par suite IL seront tirés vers K″ avec presque toute l'intensité de OP′; ce qu'il fallait démontrer.

Donc, pour tourner la tête à droite, il faut donner le coup de queue à droite, sans l'éloigner de l'axe TK; il faut, de plus, mettre la force en allant et en débutant, car plus l'angle OIK est petit, c'est-à-dire plus la queue est près

de l'axe, plus IB′ (l'effet demandé) est grand et C′I petit, plus la queue a de force.

Le poisson double sa force pour tourner à droite et neutralise le recul IC′ si, après avoir ramené la queue dans l'axe, il la fait passer doucement en IO″ et la ramène avec force de IO″ en IO, l'angle KIO″ = KIO étant très-petit; car les forces qui agissent d'une manière contraire à l'autre extrémité du couple P″O″IO^{IV} seront alors IC″ et IB′. Donc IC′ (l'effet inutile) sera détruit par IC″, tandis que IB′ (l'effet utile) sera doublé.

Ceci revient à dire que, pour tourner à droite, il faut commencer par tourner le gouvernail ou la queue sans force, sous un très-petit angle, à gauche en IO′ et ramener avec force jusqu'en IO.

En continuant d'agir ainsi, on obtiendrait la rotation complète.

Le même raisonnement s'appliquerait pour tourner à gauche.

Pour avancer, il faut, au contraire, amener le plus doucement possible le gouvernail vers K′K″, le ramener en IK par un coup vigoureux en débutant, et recommencer de la même manière de l'autre côté. Alors IC′ devient IC″ (puisque, par hypothèse, la force est en ramenant et, par conséquent, agit en sens contraire de OP′ ci-dessus), et IB′ devient IB″ : ainsi plus l'angle OIK sera

grand, c'est-à-dire plus la queue s'éloignera de son axe, plus IC″ (l'effet utile) sera grand, et plus IB″ (l'effet inutile) sera petit; le coup de queue doit donc être vigoureux au début. On verrait, par un raisonnement analogue au précédent, que IB″ (l'effet inutile) sera détruit par IB′, et que IC″ (l'effet utile) sera doublé, si l'angle OIK étant bien ouvert, la force est donnée en revenant vers IK, et si la queue passe avec douceur en IO″ pour revenir encore en IK avec vigueur.

L'homme, quand il nage, avance en vertu de la même loi, c'est-à-dire en éloignant doucement les jambes de l'axe du corps et en les rapprochant avec vigueur, surtout au commencement du rapprochement.

Le batelier imite le mouvement de queue du poisson pour avancer, lorsqu'il veut faire progresser sa barque à l'aide d'une seule rame à l'arrière. L'extrémité de cette rame décrit un huit horizontal (∞); c'est ce qu'on appelle *godiller*.

Ce mode de progression est inusité et inapplicable dans les grands bateaux, à cause de sa complication et de la perte de force qu'il occasionne.

Le timonier, à bord d'un bâtiment, gouverne d'après le même principe que les poissons, en éloignant très-peu son gouvernail de l'axe du

bâtiment; à cela près, cependant, que la force du choc du liquide provient de la vitesse de la marche, et non du gouvernail.

Pour reculer, on expliquerait, comme précédemment, que le poisson doit ouvrir l'angle largement, avec vigueur, et laisser revenir la queue en douceur.

Lorsqu'il veut prendre un mouvement de progression très-rapide, il met sa queue en S, à peu près sous la forme de MSIK (*fig.* 56), comme il a été dit. Il est facile de voir que les parties MS, SR, RI et KI, en se rapprochant avec force de l'axe KM, font avancer, avec quelques effets inutiles dont l'action est détruite par le second coup de queue qui fait prendre une forme d'S contraire à la première : alors les forces qui tendaient, dans le premier cas, à faire tourner ou altérer la direction, sont annulées, dans le second cas, par des forces égales et opposées.

En résumé, la queue, dans les poissons, est un moyen très-puissant de progression et de direction, qui explique la quantité de muscles latéraux dont la nature les a pourvus. Les nageoires ne leur servent que comme accessoire pour se tenir en équilibre ou favoriser le mouvement de progression, de rotation ou de rétrocession. Plus la palette de la queue est longue, plus elle a de

force, car le bras de levier a plus de puissance. La partie qui est près de l'axe vertical I ou de la carène, a peu d'effet; aussi, chez les poissons les plus rapides, la nature a-t-elle construit la queue en forme de croissant ABC (*fig.* 51), afin que pour le même poids, elle ait plus d'action.

A et B sont les points les plus efficaces, d'abord parce qu'ils agissent loin de l'axe, ensuite parce qu'ils dépassent ordinairement la hauteur du poisson et opèrent dans des eaux vierges qui, n'ayant pas encore été traversées, présentent plus de résistance.

C'est ainsi que se trouve conformée la queue chez les espadons, qui pour faire entrer dans le corps de leur ennemi la lame dont ils sont armés, ont besoin d'une grande vitesse (1).

Cependant, l'échancrure de la queue dans les poissons, comme dans certains oiseaux (l'hirondelle par exemple) a pour but principal de leur faciliter les moyens de se tourner sur le côté afin de mieux saisir leur proie. On conçoit, en effet, qu'en agitant une des extrémités A ou B, le poisson doit tourner autour de son axe longitu-

---

(1) On montre au Musée britannique, à Londres, un morceau de bois dans lequel est enfoncée une épée d'espadon qui l'avait brisé en se précipitant sur le bâtiment dont ce bois faisait partie.

dinal. Le polyodon, le requin, etc., qui ne peuvent saisir leur proie que de côté, ont la queue très-échancrée.

En étudiant la queue des poissons, on peut se demander pourquoi, chez les cétacés, la nature a fait cette queue horizontale et non verticale comme dans les autres poissons. Les naturalistes ne se prononcent pas sur cette question. Suivant nous, cela proviendrait de la nécessité, pour les cétacés, de se tenir souvent à fleur d'eau, nécessité qui leur est imposée par leur constitution (1) : car, dans cette position, si la queue était verticale, une partie se trouverait hors du liquide et deviendrait inutile; tandis qu'étant horizontale, elle est constamment immergée et conserve toute son action, qui doit être incessante pour soutenir ces animaux à la surface.

Position relative du centre de gravité. — On peut encore se demander : Comment le centre de gravité L doit-il être placé par rapport à la tête T et l'extrémité du corps I, pour que la progression soit la plus rapide possible? Selon nous, il doit être le plus rapproché possible de la tête T, car autrement le mouvement de droite et de gauche

(1) « Ils respirent, nous dit Cuvier, par des poumons qui les obligent à revenir souvent à la surface pour y prendre de l'air. »

(l'effet inutile), imprimé par la queue, se ferait sentir en T et nuirait à la progression. Aussi les poissons ont-ils une vitesse proportionnée à cet éloignement de I, et plus L est près de T, moins on voit zigzaguer la tête. Dans le harder, il est placé au tiers; dans le polyodon, au quart; dans la carpe et l'octracion, presque au milieu; dans la baleine, au tiers; et dans le brochet, aussi au tiers. C'est donc du tiers au quart de la longueur du corps qu'il se trouve placé chez les poissons rapides, comme le polyodon et le brochet.

« Les espèces de poissons (continue le *Dictionnaire des Sciences naturelles*) dont la vie se passe » dans de longs voyages, qui se transportent d'un » continent à l'autre, qui parcourent, dans tous » les sens, la vaste étendue d'eau au milieu de la» quelle la nature les a placés, les poissons péla» giens qui animent les flots de la haute mer, » comme les saumons, les characins, les truites, » les thons, les maquereaux, etc., sont pourvues » de grandes et fortes nageoires, surtout au dos; » tandis que les poissons littoraux et la plupart » des espèces d'eaux douces, comme les goujons, » les barbeaux, les tanches, etc., ont des na» geoires plus faibles et plus petites, parce qu'ils » ont moins à lutter contre la fureur des flots » agités par la tempête, contre la violence des » courants rapides.

» Ceux qui ont une tête volumineuse ont,
» pour mieux supporter le poids de cette par-
» tie, les catopes implantées tout près de la
» gorge....

» Au reste, la faculté de se mouvoir avec une
» inconcevable rapidité et une persévérance
» extraordinaire, distingue les poissons, sans
» pourtant que cette continuelle mobilité pa-
» raisse exiger un emploi considérable de force
» et de développement notable d'efforts, et en-
» traîner à sa suite une fatigue marquée. La forme
» de leur corps, la densité, partout égale, du
» liquide au sein duquel il sont plongés, et qui
» ne leur oppose jamais une très-forte résistance,
» favorisent tellement l'action de leurs muscles,
» qu'on a vu des requins suivre, jusqu'en Amé-
» rique, des vaisseaux sortis de nos ports, faisant,
» en se jouant chaque jour autour d'eux, cent
» circuits qui augmentaient la longueur de la
» route, et souvent, à la fin de la course, les
» devançant encore avec la rapidité de la flèche
» lancée par le bras le plus vigoureux. Le vol de
» l'aigle, si impétueux, si rapide, si soutenu, ne
» saurait être comparé à l'agile natation du thon,
» de la dorade, du saumon surtout, qui peut
» parcourir 86400 pieds par heure et 24 pieds
» par seconde, ce qui lui permettrait de faire, en
» quelques semaines, le tour du monde entier.

» Les poissons peuvent monter et descendre à » l'aide d'un organe particulier auquel on donne » le nom de *vessie natatoire* ou *vésicule aéro-* » *statique*, et qui est situé dans l'abdomen, non » loin du rachis. Cette vessie, tantôt simple, » tantôt double, communiquant le plus souvent » avec l'estomac ou l'œsophage, toujours remplie » d'un gaz, donne au dos de l'animal la légèreté » convenable pour qu'il demeure en haut, et » dans son état de plus grande extension, rend » son corps entier assez léger pour qu'il puisse » surnager naturellement; quelquefois même, » dans certaines espèces, la chaleur la dilate » tellement, que l'animal, après être resté à la » surface de l'eau exposé aux rayons du soleil, » ne peut plus la resserrer assez pour redes- » cendre. Dans l'état ordinaire, tout poisson » peut du reste, par un mécanisme très-simple, » qui se détruit quand on perce les parois de » cette vessie, la comprimer précisément au de- » gré nécessaire pour être en équilibre avec » l'eau, s'il veut demeurer dans un plan hori- » zontal; tandis qu'il la comprime davantage » quand il veut s'enfoncer, et la dilate s'il pré- » tend remonter sans efforts.

» Cette contraction a lieu au moyen des muscles » latéraux du corps, qui tendent à rétrécir ce ré- » servoir en allongeant ses parois; en sorte que,

» sous une surface égale, il présente moins de
» capacité, et cela par le fait même qu'il s'éloigne
» de la figure de la sphère.

» Quant aux poissons que la nature n'a point
» pourvus d'une vessie aérostatique, ils sont,
» peuplades terrestres de la mer, bien peu favo-
» rablement organisés pour changer leur hauteur
» dans l'eau, ce qui fait que la plupart d'entre
» eux restent au fond.

» D'après les recherches de Priestley, de Four-
» croy, de Delaroche et de M. Biot, les gaz con-
» tenus dans la vessie natatoire des poissons
» sont de l'oxygène, de l'azote et un peu d'acide
» carbonique. La proportion du premier aux
» deux autres est d'autant plus considérable que
» l'animal habite à de plus grandes profon-
» deurs. »

Extrait du tome LVIII du *Dictionnaire des Sciences naturelles*, article VESSIE OU VÉSICULE AÉRIENNE DES POISSONS.

« Cet organe, propre aux poissons, ressemble
» si peu à ce que l'on trouve dans l'économie des
» autres animaux vertébrés, que depuis long-
» temps déjà il a fixé l'attention des zootomistes....

» La vésicule aérienne présente une foule de
» différences spécifiques.

» D'abord elle n'existe pas dans tous les pois-

» sons; plusieurs en sont entièrement privés,
» et dans ce cas il faut ranger les raies, etc.,
» presque toutes les espèces dont le corps est
» aplati et qui nagent sur une des larges faces de
» celui-ci....

» Lorsqu'elle existe, elle est toujours logée
» dans la partie supérieure ou dorsale de la cavité
» abdominale, au-dessous des reins et du rachis,
» et au-dessus des organes de la digestion et de la
» génération.

» Elle varie d'ailleurs beaucoup pour ses di-
» mensions et son volume proportionnel. »

Comme il importait cependant d'avoir une idée exacte de cette proportion, j'ai fait l'expérience suivante :

Je me suis fait apporter une anguille de mer (congre) citée parmi les poissons qui ont la vessie aérienne *très-grande et très-développée*.

La longueur de cette anguille était de	$1^m,5$;
La largeur sous le ventre, de	$0^m,15$;
Et le poids, de	10 kilogrammes.

Je la plongeai dans l'eau en notant le niveau du liquide qui la recouvrait; je la retirai, et le niveau baissa de tout le volume de l'anguille. Je rajoutai de l'eau, en la mesurant avec un litre, jusqu'à ce que le second niveau fût remonté à celui que

j'avais noté : il en fallut 12 litres, qui étaient le volume de l'anguille.

Je la fis ouvrir pour mettre à découvert et extraire la vessie aérienne, qui se trouva de forme cylindro-conique. Le diamètre de la partie cylindrique était de $0^{m},04$; et la longueur, de $0^{m},25$.

Je plongeai cette vessie, pleine de son gaz, dans le litre rempli d'eau, de manière à ce qu'elle fût couverte, le niveau étant à fleur du vase. Je la retirai, et la différence de niveau ($0^{lit},33$) me donna le volume de la vessie.

Ainsi le volume du poisson était de 12 litres, et le volume de la vessie aérienne, de 0,33, ou le trente-sixième du volume du poisson.

On peut donc tirer de là cette conclusion générale, que la *vessie, dans les poissons, est* AU PLUS *le trente-sixième de leur volume,* puisque l'anguille de mer est citée comme l'ayant très-grande et très-développée.

« Dans le plus grand nombre des poissons ; la
» vessie aérienne n'est point un sac sans ouver-
» ture, car elle communique avec l'œsophage, ou
» l'estomac, par un conduit qu'on appelle ordi-
» nairement *canal aérien*, et que quelques natu-
» ralistes regardent comme existant, tandis que
» d'autres en ont nié l'existence dans un certain
» nombre d'espèces.

» ... Les zoologistes et les physiologistes ont » presque tous regardé la vessie à air des poissons » comme propre à faciliter la suspension de ces » animaux dans l'eau, et personne ne saurait lui » contester cet usage, puisqu'en diminuant leur » pesanteur spécifique elle les met en équilibre » avec celle du milieu ambiant et diminue d'au- » tant les efforts continuels auxquels ils seraient » obligés de se livrer pour se maintenir en po- » sition. Les scorpènes, les vives, l'uranoscope » et les baudroies, qui manquent de cette vésicule » et dont le système musculaire est peu puissant, » se tiennent habituellement au fond de l'eau, » dans la vase ou parmi les herbes marines; et si » la même chose n'arrive pas aux raies, aux » requins, aux maquereaux, aux thons, qui sont » également privés de cet organe, c'est que leurs » organes locomoteurs sont doués d'une prodi- » gieuse énergie. »

Expériences sur des poissons.

Nous avons vu que la progression s'obtenait, dans le poisson, par le mouvement de la queue; Borelli (*De motu Animalium*) et Barthez, dans sa *Nouvelle Mécanique de l'homme et des animaux*, l'ont aussi suffisamment démontré. Cependant, comme cette question est encore, aux yeux de

quelques personnes, un objet de doute, je vais exposer une série d'expériences que j'ai faites, et qui, je l'espère, ne laisseront aucune incertitude dans les esprits.

Je me fis apporter un jour une grande quantité de poissons de diverses espèces et de toutes formes, je les mis dans un large vase, et là je me livrai sur eux aux observations suivantes :

1°. J'en pris un qui était très-vif, prompt comme l'éclair, et lui coupai la *palette de la queue* en AB (*fig.* 52), c'est-à-dire à l'origine de cette palette. A l'instant même il ne pouvait presque plus avancer; cependant, à force de remuer la partie flexible de la queue ABCD, il obtenait un peu de cet avancement que sa palette lui donnait si facilement auparavant : il était comme un serpent dans l'eau, très-facile à prendre (1).

2°. Un second poisson eut la *queue coupée en* CD. Impossibilité d'avancer, immobilité complète, quoiqu'il fût encore vivace. Il est probable que la mort aura dû être, au bout de quelques heures, la conséquence de cette opération.

---

(1) Cette opération, qui n'altère nullement la santé du poisson, pourrait être pratiquée sur ceux que l'on conserve dans les réservoirs. Ils seraient alors plus faciles à prendre à volonté.

3°. Un troisième poisson eut une *nageoire pectorale coupée.* Aucune remarque d'altération dans la faculté de se mouvoir.

4°. Un quatrième poisson eut les *deux nageoires pectorales coupées.* Il était obligé de se remuer davantage pour se soutenir; cependant à la fin il était exactement comme avant l'opération.

5°. Un cinquième poisson eut *deux nageoires coupées en diagonale, une pectorale et une ventrale.* Toujours pas d'altération dans le mouvement, si ce n'est que le corps n'était plus d'aplomb dans l'eau et avait des mouvements de tangage.

6°. Un sixième poisson eut la *nageoire verticale dorsale coupée.* Pas d'altération.

7°. Un septième poisson eut *toutes les nageoires coupées, dorsales et ventrales.* Il avançait toujours aussi bien, mais il tournait autour de l'axe de sa longueur. Il était tantôt sur le ventre, tantôt sur le dos.

8°. Un huitième poisson eut *une nageoire dorsale et deux pectorales coupées.* Sa tête tombait à fond, et le mouvement de sa queue le faisait plonger. De plus, la dorsale n'existant plus, il n'était pas d'aplomb sur son ventre, il tournait un peu sur sa longueur. Ce qui l'empêchait de tourner complétement, c'étaient la nageoire verticale ven-

trale et les nageoires ventrales horizontales de l'arrière.

9°. Un neuvième poisson eut *deux nageoires ventrales coupées*. Pas d'altération sensible dans le mouvement; il récupérait la perte de ces deux nageoires par l'action plus soutenue des deux nageoires verticales, des deux pectorales et de la queue.

10°. Un dixième poisson eut *deux ventrales et la dorsale coupées*. Pas d'altération sensible dans le mouvement; mais les pectorales étaient largement déployées pour soutenir l'aplomb.

11°. Un onzième poisson eut *une ventrale et une pectorale d'un même côté coupées*. Il avait de la peine à ne pas se tenir incliné et même couché sur le côté; cependant au bout de quelque temps, familiarisé avec son nouvel état, il avait retrouvé son aplomb à l'aide de ses autres nageoires.

12°. Un douzième poisson eut *une ventrale et une pectorale d'un même côté, plus la dorsale coupées*. Moins d'aplomb qu'avant l'opération.

En résumé, tous ces poissons (excepté ceux qui avaient été le sujet des deux premières expériences) étaient, au bout d'un certain temps, parfaitement familiarisés avec leur nouvelle position, et il eût été difficile de s'apercevoir qu'il leur manquait quelque chose. Donc la queue

est le grand moteur des poissons, et, de plus ses fonctions multiples peuvent suppléer à la perte des nageoires. C'est ainsi que la Providence ménage à ses créatures les moyens de remplacer les fonctions d'un ou de plusieurs membres perdus.

Généralement, les poissons sur lesquels j'ai opéré avaient la queue aussi large que le corps, quelques-uns l'avaient échancrée; les plus vites étaient les plus effilés. Nous avons constaté :

1°. Que le centre de gravité O (*fig.* 53), ou la partie PQ la plus large, était situé à la moitié ou au tiers de BD, longueur de la tête à la carène;

2°. Que BC, largeur de la palette de la queue, était le cinquième de BD;

3°. Que PQ, la plus grande largeur du corps, était d'un cinquième à un quart de BD.

Conclusion.

De ce que nous venons de dire sur les poissons, nous conclurons que, s'il est vrai qu'il existe une grande analogie entre eux et les aérostats par la manière dont ils flottent et se meuvent dans le fluide ambiant, il y a aussi une différence importante dans l'usage qu'ils doivent faire de leur queue ou gouvernail.

Dans le poisson, la queue sert tout à la fois à l'ascension, à la descente, la progression et la direction.

Dans l'aérostat, le gouvernail ne peut servir qu'à la direction (1); ses fonctions se trouvant très-restreintes, ses dimensions devront être très-réduites. Ainsi, dans les navires comme dans l'aérostat, BC, largeur du gouvernail, sera un dixième environ de BD, au lieu d'un cinquième BD, comme dans le poisson. Cette considération diminuera beaucoup les difficultés d'agencement du gouvernail.

J'ai déjà fait voir ailleurs (5e condition) que la vessie aérienne était dans le poisson plus puissante que dans l'aérostat, puisque les variations de volume chez l'un donnaient une variation de volume d'eau déplacée, tandis que, chez l'autre, elles ne donnaient qu'une variation de volume d'air déplacé. Donc la variation de poids obtenue par la vessie est plus grande dans le poisson que dans l'aérostat; donc elle est plus puissante.

---

(1) Car l'imitation du mouvement de queue des poissons serait très-compliquée et occasionnerait d'ailleurs une grande perte de force, sans avantage sur les moyens mécaniques usités dans les bâtiments à vapeur.

Des oiseaux et des insectes ailés, dans leurs rapports avec les aérostats.

Nous avons vu que la différence entre la locomotion des poissons et celle des aérostats était que, dans les premiers, la queue, le principal organe du mouvement, se trouvait chargée non-seulement de la direction, mais encore de la progression en tous sens; tandis que, dans l'aérostat, le gouvernail n'avait d'autres fonctions que celle de la direction, ce qui permettait de réduire beaucoup ses dimensions.

Une différence analogue existe entre l'aérostat et les oiseaux ou les insectes : les ailes, chez eux, non-seulement doivent les diriger et les faire progresser, mais encore porter le poids de leur propre corps. De là les grandes dimensions proportionnelles données à ces organes du mouvement; de là, chez les oiseaux, la robuste constitution du muscle pectoral (1) : deux choses qui, par la dif-

(1) M. Monc-Masson, dans son *Appendix F*, nie la nécessité chez les oiseaux de s'élancer avec leurs jambes pour prendre leur vol. « Les aquatiques, dit-il, ne trouveraient pas assez de résistance pour cela. »

La chasse aux condors (rapportée dans le *Voyage autour du monde*, de l'amiral Dupetit-Thouars), est une preuve manifeste du contraire et de la robuste constitution du muscle

ficulté de leur imitation, étaient faites pour décourager ceux qui croyaient voir une analogie entre l'aérostat et les êtres ailés.

---

pectoral chez les volatiles. Voici comment cette chasse se pratique sur la côte occidentale de l'Amérique centrale, où les condors sont quelquefois assez nombreux pour être nuisibles. Ces oiseaux de proie se réunissent trois pour enlever un veau ou un mouton; deux commencent par lui crever les yeux, puis ils l'enlèvent à trois. Les paysans, pour se débarrasser de ces dangereux volatiles, mettent un cheval mort dans une enceinte de palissades, hautes de 1 à 2 mètres, et se cachent dans le voisinage. Le condor, attiré par l'odeur, est longtemps à se décider à descendre. Enfin il y arrive; il se met à la besogne, et rien ne le dérangeant dans son travail vorace, il est bientôt suivi et entouré d'autres condors. Alors les paysans accourent, ouvrent une porte de la palissade, en restant en dehors; et, comme ces oiseaux de proie *ne peuvent s'envoler faute de place pour s'élancer*, ils se précipitent par la porte, où on les assomme par douzaines à coups de bâton. Ils se défendent beaucoup, et il y a des précautions à prendre pour éviter leurs griffes.

Étienne Geoffroy-Saint-Hilaire dit que, gorgé de nourriture, l'oiseau de proie ne peut plus voler, à moins qu'il ne vomisse, tant il est lourd et hébété. Un geai peut avaler jusqu'à deux tiers de sa pesanteur de nourriture. Il peut donc enlever les deux tiers de son poids; et l'importance de ce poids, ainsi que celui du veau ou du mouton enlevé par les condors, est une preuve de la robuste constitution du muscle pectoral chez ces oiseaux.

Cette analogie n'existe pas.

L'aérostat, *en équilibre avec l'atmosphère, se porte lui-même;* par conséquent le rôle de ses agents promoteurs se borne à la progression, et les dimensions relatives de ceux-ci peuvent être très-restreintes. Cependant, nous devons le dire, si, d'un côté, ces agents promoteurs sont dispensés de la gestation du poids du ballon, de l'autre, ils auront beaucoup à faire pour surmonter la résistance provenant de son immense surface; de sorte que si, d'une part, les aérostats peuvent se passer, pour leurs agents promoteurs, de dimensions aussi grandes que celles des volatiles, d'autre part, cet avantage sera peut-être annulé ou du moins très-affaibli par l'inconvénient précité.

Néanmoins il est permis d'espérer, d'après l'analogie des transatlantiques (*voir* 3e condition), que le problème de la navigation aérienne n'est point insoluble; et tant que des expériences répétées et en bonnes conditions ne seront pas venues trancher la question, il faut être sobre de conclusions négatives ou affirmatives à cet égard.

Attachons-nous à constater ici la différence qui existe entre l'oiseau et l'insecte ailé sous le rapport de la locomotion :

L'oiseau est doué d'une queue qui, dans les airs, lui sert par son développement à équilibrer

le poids de son corps, et par son inclinaison à ralentir ou incliner son vol rapide.

L'insecte ailé, composé de trois parties : la tête, le corselet ou thorax, et l'abdomen ou ventre, n'a pas de queue; mais son abdomen jouit de propriétés analogues par la faculté de pouvoir se recourber sur lui-même.

L'insecte ailé peut être considéré comme un assemblage ou un convoi de trois petits aérostats; savoir :

Celui de tête, en étoffe dure et résistante, pour fendre l'air, discerner la route et servir de parachoc;

Celui du corselet, en même étoffe, et porteur des agents de progression, pour remorquer le convoi;

Celui de l'abdomen, en étoffe moins solide, peut être considéré comme un ballon de charge, remorqué par les deux autres.

Ce petit train de ballon, par sa propriété de pouvoir se courber sur lui-même et de faire agir ses ailes d'un côté plus que de l'autre, a la faculté de se diriger en tous sens (1).

---

(1) L'idée d'avoir un train de plusieurs ballons au lieu d'un seul avait été conçue par Monge. On lit à cet égard dans un article (signé Ferry) de la *Revue encyclopédique*,

Si l'aérostation devait chercher des modèles ailleurs que dans les transatlantiques, il y a des ordres d'insectes ailés qui mériteraient de fixer l'attention par l'admirable simplicité de leur appareil locomoteur, qu'on a imité plus d'une fois.

Ainsi les diptères, qui sont pourvus de deux ailes droites, ont, au bout et à l'origine de chacune d'elles, un balancier placé sous leur inser-

---

tome XXXI, page 588, 1826 : « Monge, profitant des moyens » imaginés par Meusnier pour monter et descendre avec une » assez grande rapidité, avait conçu la possibilité de tirer » de ce mouvement vertical celui de la translation horizon- » tale. Meusnier n'employait qu'un seul aérostat pour trans- » porter tous ses voyageurs : Monge les répartissait entre » vingt-cinq petits ballons auxquels il conservait la figure » sphérique, au lieu que Meusnier changeait le sien en forme » d'ellipsoïde. Monge attachait les uns aux autres tous ces » ballons, en sorte qu'ils formaient un assemblage flexible » dans tous les sens, susceptible d'être développé en ligne » droite, courbé en arc de cercle dans toute sa longueur ou » seulement dans une partie ; de prendre avec ces cour- » bures ou ces formes rectilignes la situation horizontale ou » différents degrés d'inclinaison. Ce système de globes mon- » tant et descendant alternativement avec la vitesse que les » aéronautes lui auraient imprimée, eût imité dans l'air le » mouvement *du serpent dans l'eau*. Il est bien à regretter » que l'illustre géomètre n'ait pas donné suite à cette pre- » mière conception, et qu'il ne l'ait pas soumise au calcul. »

tion, destiné à en contre-balancer le poids; cette disposition a pu servir de modèle dans la confection des bonnes rames dont le manche renferme un poids capable de faire équilibre à celui de la palette.

Dans l'ordre des hyménoptères à quatre ailes (section des porte-aiguillons), les mellifères ont des ailes remarquablement peu développées, par rapport au volume de leur corps, aux trajets et aux transports considérables qu'ils sont obligés de faire (1).

Il y aurait là, et ailleurs encore, beaucoup à prendre, si, comme nous venons de le dire, l'aérostation ne trouvait pas, dans les transatlantiques à vapeur, un modèle plus facile à imiter.

---

(1) Dans l'abeille, ces ailes sont au nombre de quatre, « secours, dit Bernardin de Saint-Pierre, que la nature a refusé aux mouches qui volent à vide, et qui, pour cette raison, n'en ont que deux. »

« La mouche ichneumon, ou demoiselle aquatique, dit le même auteur, a pareillement quatre ailes, parce qu'elle vole aussi chargée de butin. Je lui ai vu prendre en l'air des papillons. »

NOTE VIII.

MACHINE A PLAN INCLINÉ DE M. HANSON.

La machine de M. Hanson, dont l'expérience a été tentée en 1843, en Angleterre, n'a pas eu et ne pouvait avoir de succès. Semblable à un grand oiseau qui se soutient dans les airs, cette machine était composée d'une surface plane, analogue aux ailes, et sous laquelle se trouvait un récipient imitant le corps de l'oiseau; ce récipient renfermait le chargement et la machine à vapeur qui agissait sur l'air à l'aide de vis d'Archimède. Selon que l'avant de la surface plane était incliné en dessus ou en dessous, l'appareil devait monter ou descendre : en un mot, cette machine reposait sur le principe du plan incliné du cerf-volant, à l'exception que le moteur était une machine à vapeur agissant sur l'air, au lieu d'être le vent agissant sur une surface inclinée retenue par une corde.

L'idée dominante de cette machine devait être d'arriver à la navigation aérienne en évitant l'in-

convénient de la résistance dans l'air provenant de la grande dimension des ballons; mais, en parant, il est vrai, à cet inconvénient des ballons, on est tombé dans un autre qu'ils n'ont pas : c'est que le moteur devait non-seulement servir à la locomotion, mais encore à la gestation du système; semblable en cela à un bateau à vapeur surchargé et prêt à couler à fond, et dont la machine serait obligée non-seulement de le faire avancer, mais encore de le maintenir à fleur d'eau. Il s'agirait donc de savoir si le bénéfice fait sur la moindre résistance de l'air (provenant de la moindre surface de l'appareil) n'est pas annulé par la perte de force employée à la gestation. Nous laisserons ce calcul à faire à d'autres, et nous nous attacherons plus spécialement, non au mode de départ de cette machine et à l'embarras de sa vaste surface plane, complétement inapplicable en grand, mais à un autre vice, qui ôterait à cet appareil tout avenir et le ferait même prohiber par le danger qu'il offrirait si cette invention n'était pas mort-née : c'est que, pour peu que la machine à vapeur se dérange et s'arrête, ou qu'un coup de vent vienne à rompre ou renverser le plan incliné, la culbute du haut des airs et la chute précipitée vers la terre deviennent inévitables. Or ce danger continuel, imminent et inad-

missible n'existe pas dans l'aérostat, lequel se porte lui-même avec son chargement, et qui, quel que soit le dérangement de sa machine à vapeur, ses pertes de gaz, peut toujours se diriger et ralentir sa descente. L'avantage de sécurité présenté par les ballons en général est même si manifeste, que M. Hanson, pour y avoir renoncé, a dû croire qu'on ne parviendrait jamais, à l'aide d'un moteur, à surmonter la résistance de l'air provenant de la grande surface des ballons. Or nous avons fait voir le contraire (par la loi de Newton appliquée aux transatlantiques); c'est-à-dire que, à l'aide d'une puissance de 450 chevaux, un aérostat allongé pourra vaincre des vents *assez forts* et gagner des couches calmes. Il n'y a donc pas lieu à renoncer à la précieuse découverte de l'aérostation, et il est à regretter, dans l'intérêt de cette science, que l'auteur précité l'ait abandonnée pour employer son temps et son argent à suivre une voie aussi périlleuse que stérile.

NOTE IX.

DU CERF-VOLANT DANS SES RAPPORTS AVEC LES AÉROSTATS

Dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin*, on trouve, à la date de 1756, un travail du fils d'Euler, où il a écrit cette phrase :

« Le cerf-volant, ce jouet d'enfant, méprisé » des savants, peut cependant donner lieu aux » réflexions les plus profondes. »

En effet, le Mémoire qu'Euler fils a présenté à ce sujet ne renferme pas moins de quarante pages in-8° de calculs, et encore n'arrive-t-il pas à une règle générale à l'aide de laquelle on puisse faire monter un cerf-volant à une hauteur donnée par un vent donné.

D'où il résulte que les principes de la bonne marche d'un cerf-volant, comme ceux de la bonne marche d'un vaisseau, reposent sur des conditions assez difficiles à analyser, et assez mystérieuses pour qu'il soit nécessaire de se faire dans chaque cas, comme nous l'avons dit précé-

demment, certaines règles déduites de l'observation, qui n'ont rien de fixe.

Donnons cependant la conclusion du Mémoire d'Euler fils : « Le cerf-volant sans queue, par » un vent de 20 pieds par seconde, s'élève seu- » lement à 4°67′ (inclinaison de la corde à l'ho- » rizon); au lieu que le même cerf-volant chargé » d'une queue qui a la moitié de son poids, » monte à une hauteur double; et avec un vent » qui parcourt de la même manière 30 pieds par » seconde, l'inclinaison de la ficelle à l'horizon » a été trouvée de 64°44′; au lieu que, sans » queue attachée, le même angle ne va pas » beaucoup au delà de 32 degrés. D'où il paraît » que la queue attachée a une grande influence » pour augmenter l'élévation qui, de cette ma- » nière, devient double. »

C'est en partie de cette conclusion que l'on a tiré les règles suivantes (*Ancienne Encyclopédie*, Supplément, article CERF-VOLANT) :

« La queue doit être assez longue, et l'extré- » mité inférieure du cerf-volant et son centre » de gravité doivent être le plus éloignés qu'il » est possible du point où l'on attache la ficelle, » et celle-ci doit être fort longue. Alors la sta- » bilité du cerf-volant sera assez grande; c'est- » à-dire que, lorsqu'il sera en équilibre en l'air

» et qu'il viendra à être dérangé par quelque » force, cet équilibre se rétablira bientôt et la » machine ne se précipitera pas. » On voit que cette règle est assez vague.

Par la statique, on peut se faire une idée des principes moteurs du cerf-volant.

Soient :

AB (*fig.* 54) un cerf-volant en projection verticale;
FD la ficelle;
G le centre de gravité;
C le centre de figure;
D le point d'attache de la ficelle FD.

Trois forces agissent sur lui; savoir :

PC, la force du vent qui agit au centre de figure;
RG, la force de la pesanteur qui agit au centre de gravité;
QD, la force de la corde qui agit au point D dans le sens QD.

Décomposons ces trois forces chacune en deux, l'une perpendiculaire et l'autre parallèle à la surface du cerf-volant. On aura :

		Forces		
		perpendic.		parallèles.
Pour PC	les composantes	P'C	et	KC;
Pour RG	»	R'G	et	HG;
Pour QD	»	Q'D	et	ID.

Les forces parallèles à la surface, agissant sur la résistance de construction du cerf-volant, et non sur son mouvement, nous n'en parlerons pas; nous ne nous occuperons que des trois autres.

Les forces perpendiculaires Q'D et R'G sont contraires à la force P'C; donc, *pour qu'il y ait équilibre*, il faut que leur résultante soit égale et contraire à P'C et passe au point C.

Maintenant, avec un peu d'attention, on verra :

1°. Que *plus le cerf-volant se redressera*, c'est-à-dire que plus AB se rapprochera de la verticale, et plus les forces perpendiculaires R'G et Q'D, ou *les résistances, diminueront;* tandis qu'au contraire la force perpendiculaire P'C, ou *la force utile, augmentera;*

2°. Que *plus le cerf-volant se couchera ou s'inclinera, plus les résistances augmenteront et la force utile diminuera*.

Donc il y a avantage dans le premier cas, et désavantage dans le second; c'est-à-dire qu'il faut que le cerf-volant soit le plus vertical possible pour qu'il atteigne une grande hauteur.

Ceci explique :

1°. Pourquoi au départ, lorsque le cerf-volant est presque vertical, l'ascension est plus rapide qu'après;

2°. Pourquoi, à mesure qu'il monte, il faut

lâcher de la corde afin que le cerf-volant, décrivant des courbes d'un plus grand rayon, soit moins incliné, jusqu'à ce que le poids de cette corde l'empêche de monter davantage;

3°. Pourquoi enfin il est nécessaire que le cerf-volant ait une queue dont le poids favorise son redressement et lui donne du lest, afin qu'il ne plonge pas, la tête en bas, vers la terre, lorsque, par l'ascension rapide du début, ou par un accroissement dans la force du vent, il vient à dépasser le point d'équilibre.

On fait ordinairement la partie supérieure du cerf-volant plus large que la partie inférieure, afin que le plus grand effort du vent porte sur la partie la plus résistante, près du point d'attache de la corde qui se trouve dans la partie supérieure pour donner à l'appareil l'inclinaison nécessaire.

Différence entre le cerf-volant et le ballon captif (1).

Nous venons de voir que le cerf-volant est soumis à trois forces; savoir : à la pesanteur ou

(1) Pour comprendre ce qui va suivre, il faut relire la fin de la 8e condition (de l'aérostat captif à une certaine hauteur).

poids de l'appareil, à la force du vent, et à la force qui le retient à terre.

Le ballon captif est aussi soumis à trois forces; savoir : à la force ascensionnelle, à celle du vent, et à celle qui le retient à terre.

Il en résulte que les deux appareils diffèrent, pour les forces qui les sollicitent, en ce que :

Le cerf-volant est soumis à l'action de la pesanteur, qui tend à le faire *descendre;* et le ballon captif, à l'action de la force ascensionnelle, qui tend à le faire *monter*. De sorte qu'on peut conclure de cette différence, que si le cerf-volant a besoin d'être le plus vertical possible pour que le vent puisse lutter avec plus d'avantage contre l'action de la pesanteur, le ballon captif, armé d'une corde sous-tendante (*voir* 8e condition, et *fig.* 20 et 21), pourra être presque horizontal, sans crainte de descendre, puisque par son équilibre dans l'atmosphère, il s'est affranchi de l'action de la pesanteur, et qu'il est, par hypothèse, animé d'une force ascensionnelle.

Cette conséquence est satisfaisante et tout à l'avantage du moyen proposé dans la 8e condition, puisque la faible inclinaison de l'axe de l'aérostat captif sera à peine sensible, pour les aéronautes, dans la nacelle, tandis qu'une plus grande inclinaison aurait été fort incommode.

Il est probable que l'aérostat captif, pourvu de sa sous-tendante, pourra se passer d'une queue dont le but, dans le cerf-volant, est de donner du lest, de la stabilité, du redressement et de la hauteur dans l'ascension; avantages que possède naturellement le ballon captif. L'expérience seule éclaircira ce dernier point.

NOTE X.

EXPÉRIENCES SUR LA RÉSISTANCE DES BOIS.

Dans la construction de la barque, du gouvernail et des compresseurs des grands aérostats (*voir* 9e et 4e condition), on aura souvent à employer des bois qui devront présenter une solide rigidité alliée à la plus grande légèreté possible. Il est donc important d'étudier les bois qui présentent le plus d'avantage sous le double rapport du poids et de la rigidité.

Voici, d'après l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour l'année 1842, les densités de différents bois :

Eau distillée	1,00
Chêne	1,17
Hêtre	0,852
Frêne	0,845
If	0,807
Orme	0,800
Pommier	0,733
Oranger	0,705
Sureau	0,695
Saule	0,685
Sapin jaune	0,657
Tilleul	0,604
Cyprès	0,598
Cèdre	0,561
Peuplier blanc d'Espagne	0,529
Peuplier ordinaire	0,383
Liége	0,240

Il existe un bois exotique, qui ne figure pas dans cette liste, mais qui sera particulièrement recommandable pour les constructions aérostatiques : c'est le bambou des Indes orientales (1),

(1) Dans la *Revue d'Orient* de novembre 1844, on trouve un article fort intéressant de M. l'abbé Voisin, au sujet du bambou. Ce missionnaire rapporte qu'il y en a une quinzaine d'espèces, lesquelles ont toutes des usages très-multipliés; par exemple on en fait des planches, des vases, des lattes, des papiers, des meubles, etc.

« On s'étonne, dit-il, pourquoi, au lieu de cultiver le » bambou dans les serres, on ne le plante pas en pleine

qui a la propriété, comme le sureau, d'être creux à l'intérieur, et de présenter, par conséquent (1),

---

» terre, au grand air. Quelques variétés auraient de la peine » à s'acclimater en France; mais le plus grand nombre, et » surtout celle de la plus belle espèce, y réussirait aussi » bien que sur les montagnes du Thibet. Le bambou sert, en » Chine, à toutes sortes d'usages; on en fait des nattes pour » les lits et pour sécher les grains, des paniers pour conser- » ver les céréales, des corbeilles, des radeaux pour le trans- » port des marchandises, des nécessaires, des chaises, des » meubles; enfin on en bâtit des maisons.

» Aucune matière propre aux constructions ne réunit au » même degré la force et la légèreté.

» Il ne faut pas croire que le bambou, pour prospérer, » ait besoin d'être planté dans un terrain marécageux; il » n'y a que ceux d'une aridité absolue où il ne peut se dé- » velopper, c'est-à-dire où il ne saurait atteindre sa hauteur » naturelle de 15 à 20 mètres, hauteur qu'il atteint con- » stamment dans les terrains ordinaires.

» Le bambou se multiplie de boutures longues de $1^{m},50$, » coupées entre deux nœuds. La bouture doit entrer en terre » de $0^{m},50$; la partie hors de terre doit être tenue constam- » ment pleine d'eau, qu'on renouvelle à mesure qu'elle » s'évapore, jusqu'au moment où la végétation indique la » formation des racines; alors on abandonne la plante à » elle-même. Ce procédé est partout en usage, en Chine, » pour les plantations de bambous. »

(1) *Voir* pour la résistance des tuyaux creux, la *Physique* de Peclet, t. I, p. 111.

bien plus de résistance à la rupture, pour un même poids, que si le bois était massif. Mais le sureau n'atteignant qu'une faible hauteur, proportionnellement à celle du bambou, qui est souvent de 20 mètres, celui-ci doit donc lui être préféré, et nous faisons des vœux pour qu'il soit naturalisé en Europe.

Parmi tous les autres bois qui précèdent, nous choisirons, pour notre expérience, le sapin jaune de Suisse ou du Jura, en ce sens que c'est celui qui présente les plus grands et plus nombreux avantages, tant sous le rapport de la longueur et de la régularité des fils, que sous le rapport de la légèreté et de la médiocrité du prix.

J'ai fait préparer plusieurs lames de ce bois, et sur elles j'ai cherché à savoir de combien on pouvait augmenter la longueur (l'épaisseur et la largeur variant peu) sans que la rigidité de la lame fût sensiblement altérée; j'ai reconnu, après plusieurs essais, que pour conserver la rigidité d'une lame dans le sens de sa largeur, il valait mieux, chose assez évidente, disposer cette lame en losange A (*fig.* 55) qu'en rectangle B (*fig.* 56): pour le même poids on obtient ainsi une plus grande rigidité. La même quantité de matière ligneuse a une meilleure disposition pour cet objet. En effet :

Soit le rectangle *abcd* (*fig.* 57) = B (*fig.* 56); prenez les milieux de *ab* et de *cd*, sur la ligne centrale *ef*, portez *ke* et *if* = *ag*, joignez *g*, *e*, *h*, *f*: vous aurez des triangles *emk*, etc., égaux à *amg*, etc.; par conséquent, le losange *gehf* ne pèsera pas plus que le rectangle *abcd*, puisque le premier n'est autre que le deuxième, auquel on aurait ôté les triangles *amg*, etc., pour les appliquer en *kme*, etc. Donc la quantité de matière ligneuse et la pesanteur sont les mêmes dans les deux cas.

J'ai reconnu qu'un losange pouvait devenir ainsi $\frac{1}{6}$ plus rigide qu'un rectangle du même poids, et que l'on obtiendrait encore une plus grande rigidité en augmentant la largeur *ef*.

Après avoir éprouvé beaucoup de lames en losange et en rectangle, je suis arrivé à conclure qu'une lame en losange

D'une longueur de L = $2^m,274$,
D'une largeur de LA = $0^m,018$ (*),
D'une épaisseur de E = $0^m,0045$,
Et d'un poids de P = 75 grammes,

était presque complétement rigide sur champ, c'est-à-dire dans le sens de sa largeur. On peut

(*) Le nombre $0^m,018$ est la moyenne entre la largeur des extrémités $0^m,013$, et celle du centre $0^m,022$.

traduire ces proportions en formules mnémoniques: Si E = 1, LA = 4, et L = 505. Donc, pour qu'une lame de sapin conserve sa rigidité, il faut que cette lame ait la forme d'un losange, et que

$$E = 1, \quad LA = 4\,(*), \quad L = 505.$$

Ces formules m'ont été d'un grand secours dans la construction de la carcasse de mon ballon de cuivre de 10 mètres de diamètre, où j'avais à courber en demi-cercle des lames de sapin de $15^{m},70$ de long, sans qu'elles cessassent d'être rigides sur champ, difficulté que j'ai surmontée avec un plein succès.

Elles pourront aussi servir pour la construction des compresseurs dont j'ai parlé dans la 4e condition, lesquels devront être complétement rigides, quelle que soit leur longueur.

(*) Le nombre 4 est la moyenne entre la largeur des extrémités 3, et celle du centre 5.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

But de l'ouvrage VII

Introduction. IX

PREMIÈRE PARTIE.

CONDITIONS DE LA NAVIGATION AÉRIENNE.

De l'aérostation actuelle et à venir. 4

1re CONDITION. — L'aérostat doit renfermer un gaz d'une production facile qui soit le plus léger possible, afin d'avoir la plus grande force ascensionnelle possible, pour une capacité donnée. 11

Du contenu de l'enveloppe. . . . . *Ib.*

De l'air chaud. 12

De la vapeur d'eau. 14

Du vide. 15

De l'hydrogène. 16

2e CONDITION. — L'aérostat doit être complétement inaltérable à l'air et imperméable au gaz. . . . 22

De la matière de l'enveloppe . . . . . *Ib.*

Pages.

3e CONDITION. — L'aérostat doit avoir une forme allongée pour pouvoir fendre l'air 33
De la direction. . . . . *Ib.*
De la forme de l'enveloppe. 42
Analogie de l'aérostat colossal avec le transatlantique 48

4e CONDITION. — L'aérostat doit avoir une certaine pression intérieure pour ne pas être déformé par la résistance de l'air lorsqu'il naviguera au milieu de l'atmosphère, ou pour résister aux vents lorsqu'il sera captif ou à l'ancre. . . . 55
De la pression intérieure ou de l'invariabilité du volume . . . . . *Ib.*
Des aérostats à double courbure 57
Des aérostats développables. 59
De la pression intérieure dans un aérostat quelconque 64
Moyen d'obtenir une légère pression intérieure. 76

5e CONDITION. — L'aérostat doit monter et descendre sans pertes de gaz. 78
Des principaux moyens de monter et descendre, proposés jusqu'à ce jour. . . . . *Ib.*
1°. Ascension et descente des montgolfières par le feu. 79
2°. Ascension et descente des ballons à hydrogène par les pertes de gaz. 80
3°. Ascension et descente des ballons à hydrogène par l'adjonction d'un ballon à feu ou montgolfière. (Expérience de Pilâtre de Rozier.) . . . . . *Ib.*

Pages.

4°. Ascension et descente à l'aide d'une vessie natatoire semblable à celle du poisson, proposée par le baron Scot. 89
5°. Ascension et descente par la dilatation et la compression du gaz du ballon à l'aide d'une double enveloppe. (Projet de Meusnier.). . . 98
6°. Ascension et descente par la dilatation et la compression du gaz du ballon, à l'aide de compresseurs agissant sur un aérostat développable. (Moyen proposé par l'auteur.). 105
7°. Ascension et descente à l'aide d'une corde plus ou moins traînante à terre. (Expérimenté par M. Green.) 107
8°. Ascension et descente par les moyens mécaniques ou agents promoteurs, rames, roues à palette, hélices, etc. 108
9°. Ascension et descente à l'aide d'un plan incliné. 111
10°. Ascension et descente, en profitant de certaines variations de température de l'atmosphère. (Moyen proposé par l'auteur.) . . . . *Ib.*

6e CONDITION. — L'aérostat doit être pourvu d'une force motrice suffisante pour qu'il puisse naviguer au moyen d'agents de locomotion. . . . 114
De l'emploi des machines à vapeur . . . . . *Ib.*
Ballons de 40 et de 140 chevaux . . . . . *Ib.*
Aérostat de 450 chevaux. 125
Des agents promoteurs. 131
Réfutations d'objections contre l'emploi de la vapeur comme moteur. 135

Pages.

7e CONDITION. — L'aérostat doit avoir un gouvernail. 139

8e CONDITION. — L'aérostat devra n'avoir rien à craindre des grands vents, lorsqu'il sera à l'ancre ou captif. 144

De la manœuvre des aérostats captifs ou à l'ancre par les grands vents. . . . . *Ib.*

De l'aérostat captif, à terre. 145

De l'aérostat captif, à une certaine hauteur. . . 147

De la sous-tendante 148

9e CONDITION. — L'aérostat de grandes dimensions doit être d'une construction facile 152

10e CONDITION. — La navigation aérienne doit présenter des avantages sur les différents modes de transport usités jusqu'ici. Exemples de quelques applications.. 155

Par la navigation aérienne, toute ville jouit des avantages d'un port de mer.. . . . . *Ib.*

Communication directe du producteur avec le consommateur. 156

L'aérostation auxiliaire de la marine 158

Avantage de la navigation aérienne sur les transports par mer . . . . . *Ib.*

Dangers de la navigation aérienne.. 160

Vitesse de la navigation aérienne, descente forcée en pays ennemi, croisières aériennes, etc. . . 161

L'aérostat colossal considéré comme machine de guerre. 165

Des aérostats paratonnerres et paragrêles. . . . 169

11e CONDITION. — Indiquer l'ordre à suivre dans les

Pages.

expériences futures, et les voies et moyens pour en couvrir les frais. 172
Nécessité du concours des gouvernements, ou d'une association de capitalistes, pour les expériences aéronautiques. 175
Actualité de la question aéronautique pour les gouvernements. 176
12e CONDITION. — Conclusion. 181
Tableau synoptique de l'état de la question aéronautique. . . . . *Ib.*

DEUXIÈME PARTIE.

CONSTRUCTION D'UN BALLON DE CUIVRE.

But de l'expérience. 185
Avant-projet de construction d'un ballon de cuivre de 5 mètres de rayon. 186
Conditions à remplir. 187
Projet de construction. 188
Exécution du projet. 189
Soudure. 191
Réparation d'un ballon de cuivre crevé et plein d'hydrogène 192
Construction de la carcasse sphérique; soudure. . . 194
Papier à l'intérieur. 199
Suite et fin de la soudure. 203
Du ventilateur. 204
Des deux fermetures provisoires du ballon. 207

Pages

De l'extraction des bois de la carcasse sphérique de l'intérieur du ballon. 210
Du renversement du ballon. 214
Dernier calfeutrage du ballon. 216
Appareil pour la production du gaz. 217
Remplissage du ballon. 223
Critique de cette expérience. 228

TROISIÈME PARTIE.

NOTES COMPLÉMENTAIRES.

NOTE I. — Il y a-t-il eu, avant 1783, époque de la découverte de Montgolfier, quelques essais d'ascension dans l'air, capables de faire soupçonner la connaissance de l'aérostation? . . . 233

NOTE II. — Expériences sur de l'alcool rougi et de l'eau, par analogie avec l'hydrogène et l'air. . 246

NOTE III. — De l'emploi du carton dans les enveloppes aérostatiques. 251

NOTE IV. — Formules aéronautiques. 253

Formules de l'aérostation ordinaire, c'est-à-dire sans pression intérieure et avec variation de volume . . . . . *Ib.*

Formules de l'aérostation avec pression intérieure de 1 atmosphère. 274

Formules aérostatiques avec pression intérieure très-faible de 0,0001 au manomètre; projet de Meusnier 279

Pages.

NOTE V. — Tables diverses nécessaires à l'aéronaute. 288

Table I. De la force perpendiculaire du vent. (Extraite de MM. Rouse et Smeaton.) . . . . *Ib.*

Table II. Des hauteurs correspondantes aux hauteurs barométriques 290

Table III. Des températures des diverses hauteurs de l'atmosphère, d'après M. Gay-Lussac. 291

Table IV. Des volumes et diamètres de quelques ballons, d'après M. Francœur et l'auteur . . . 294

Table V. Des vitesses du vent 295

NOTE VI. — Expériences sur la résistance d'une feuille de cuivre 296

NOTE VII. — Des poissons, des oiseaux, des insectes ailés dans leurs rapports avec les aérostats. . 299

Expériences sur des poissons. 316

NOTE VIII. — Machine à plan incliné de M. Hanson. . 328

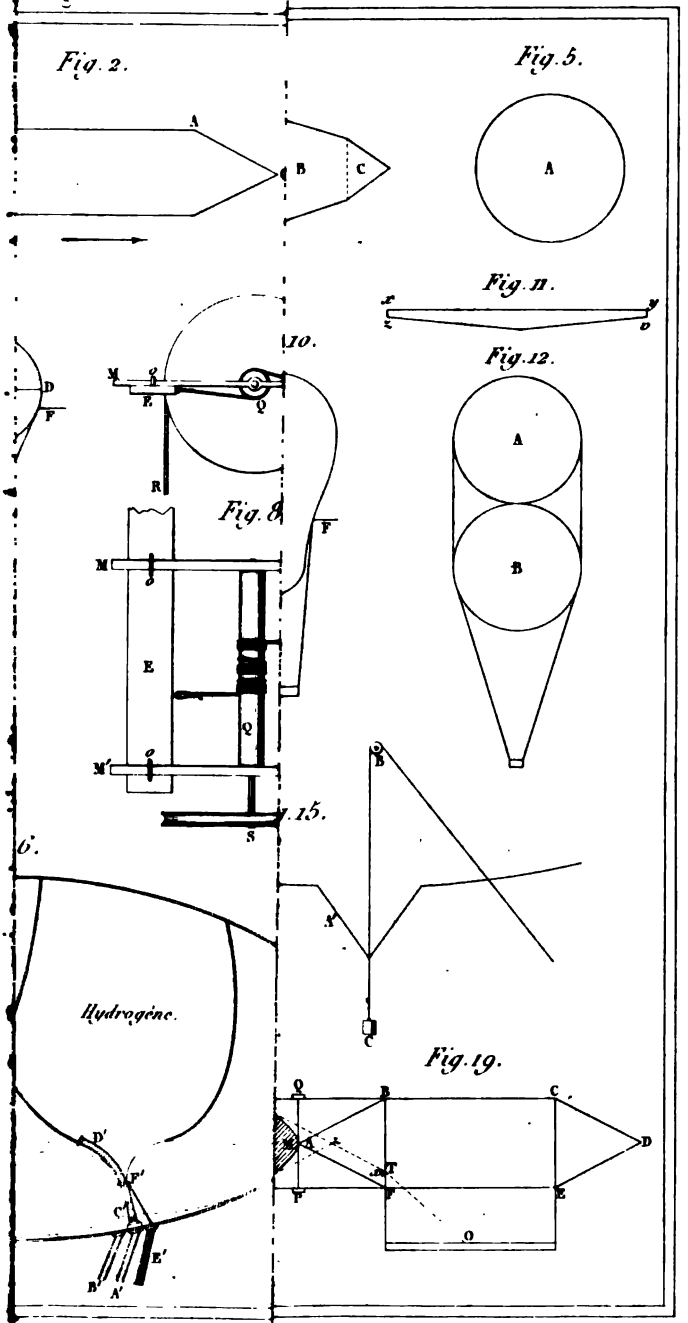
NOTE IX. — Du cerf-volant dans ses rapports avec les aérostats. 331

NOTE X. — Expériences sur la résistance des bois. . 338

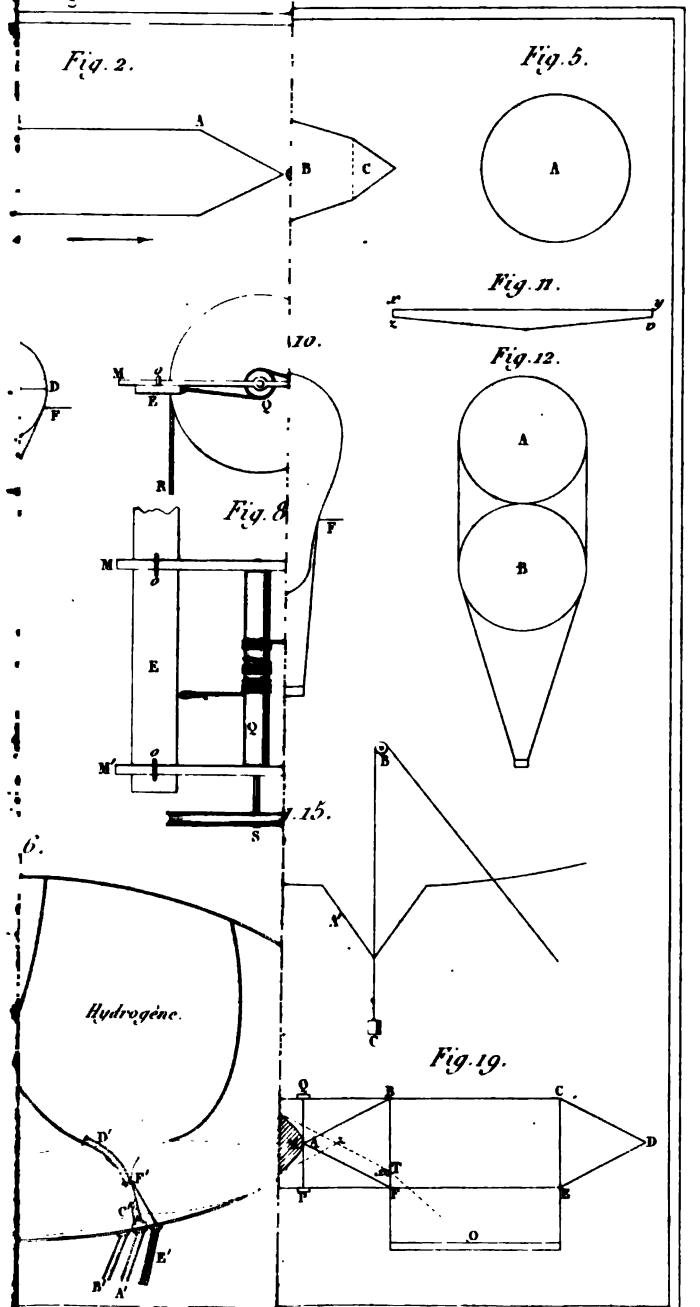
FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA.

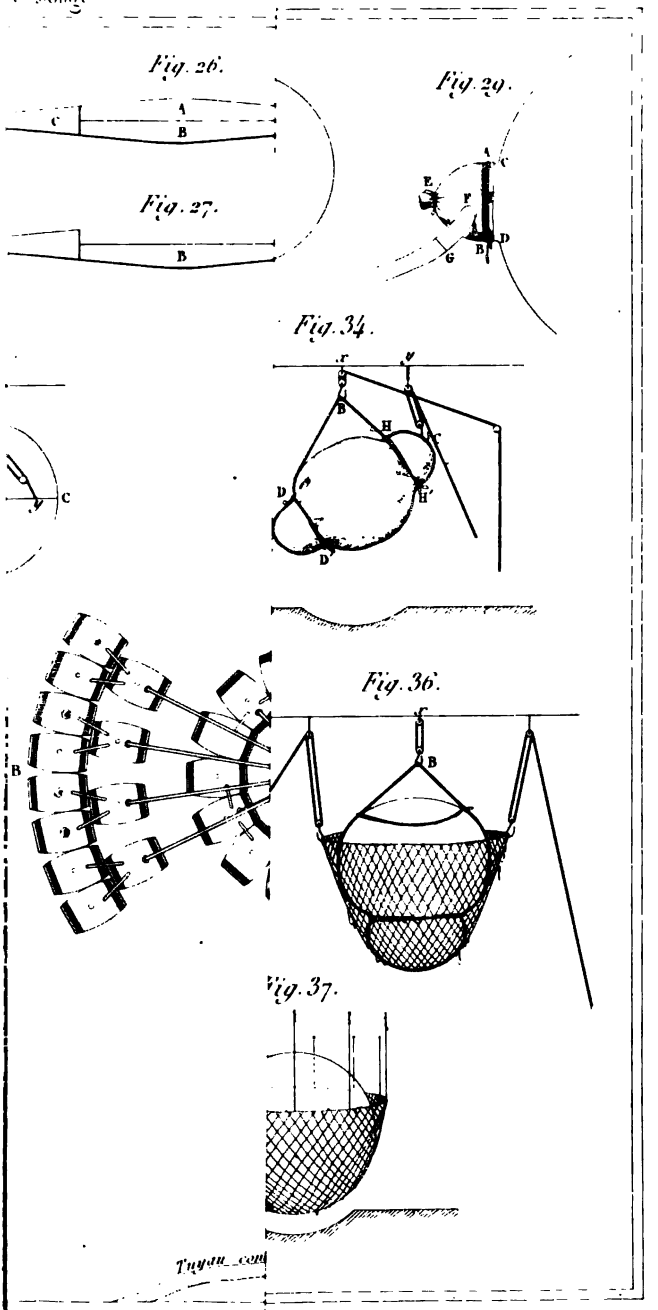
Pages.	Lignes.	
59,	19,	*au lieu de* perpendiculaire de, *lisez* perpendiculaire à
73,	25,	*au lieu de* cube, *lisez* carré
Ibid.,	27,	*au lieu de* cubes, *lisez* carrés
86,	14,	*au lieu de* $31\,225^{k},68$, *lisez* $13\,225^{k},68$
295,	colonnes 3 et 4 du tableau,	*au lieu de* $1^{m},800$, $43^{m},200$, *lisez* $1^{km},800$, $43^{km},200$



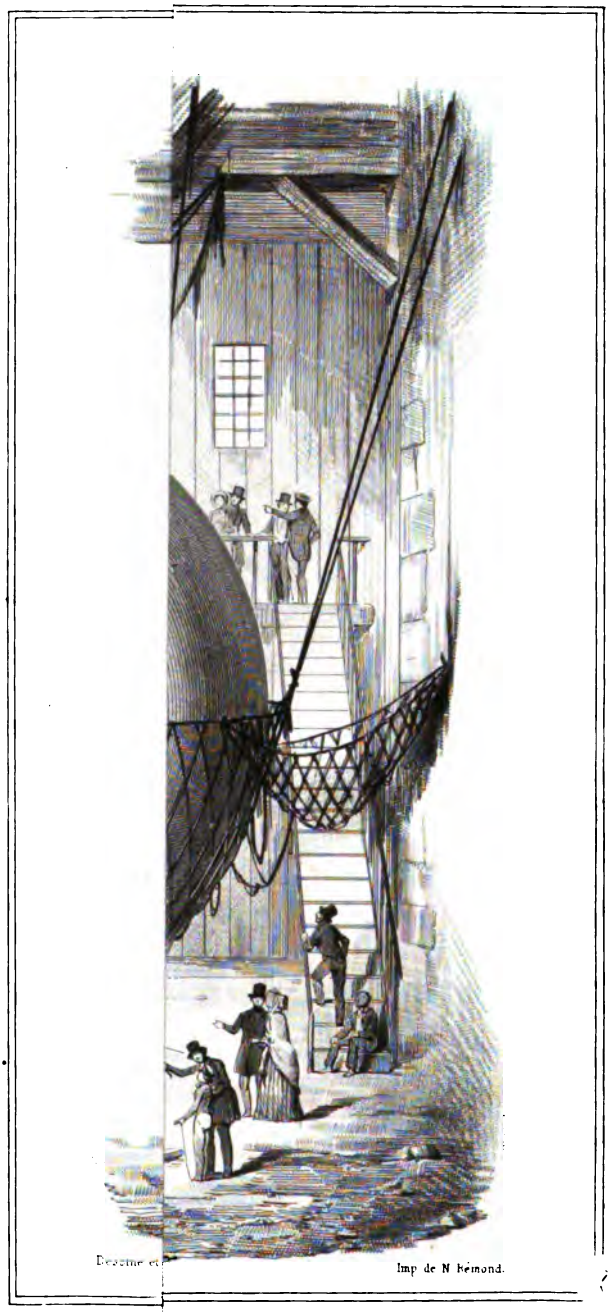
Gravé par E. Wormser.



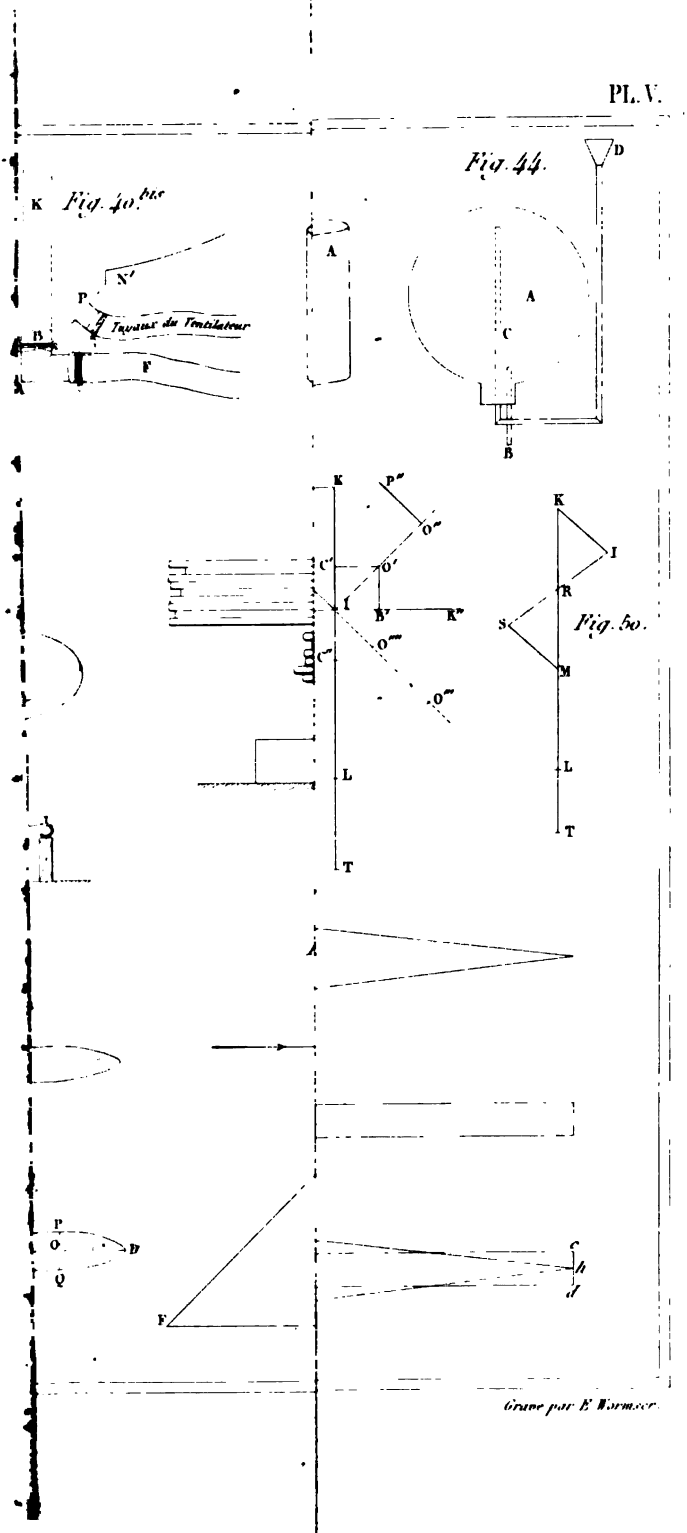
Gravé par E. Wormser.



Gravé par E. Wormser



cures par des cordes.



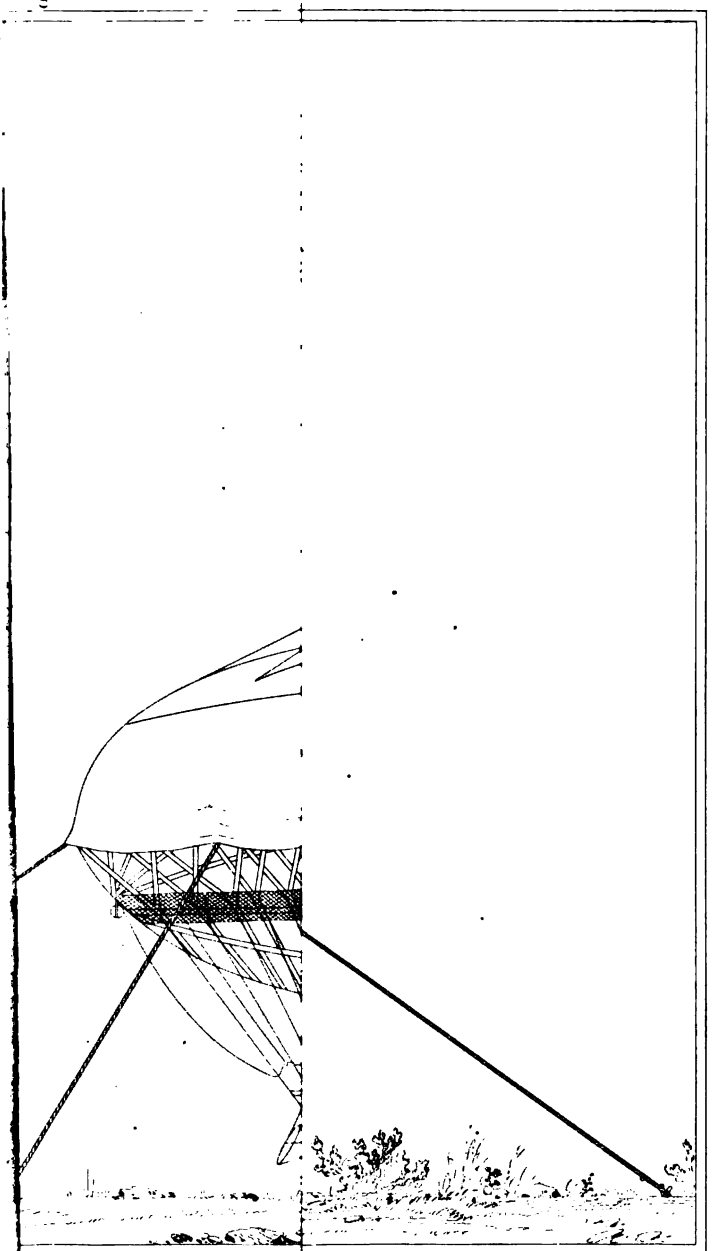
Gravé par E. Wormser.

MANŒU

Le Ballon affourché

longe.

PL. VIII.



Grave par E. Wormser.

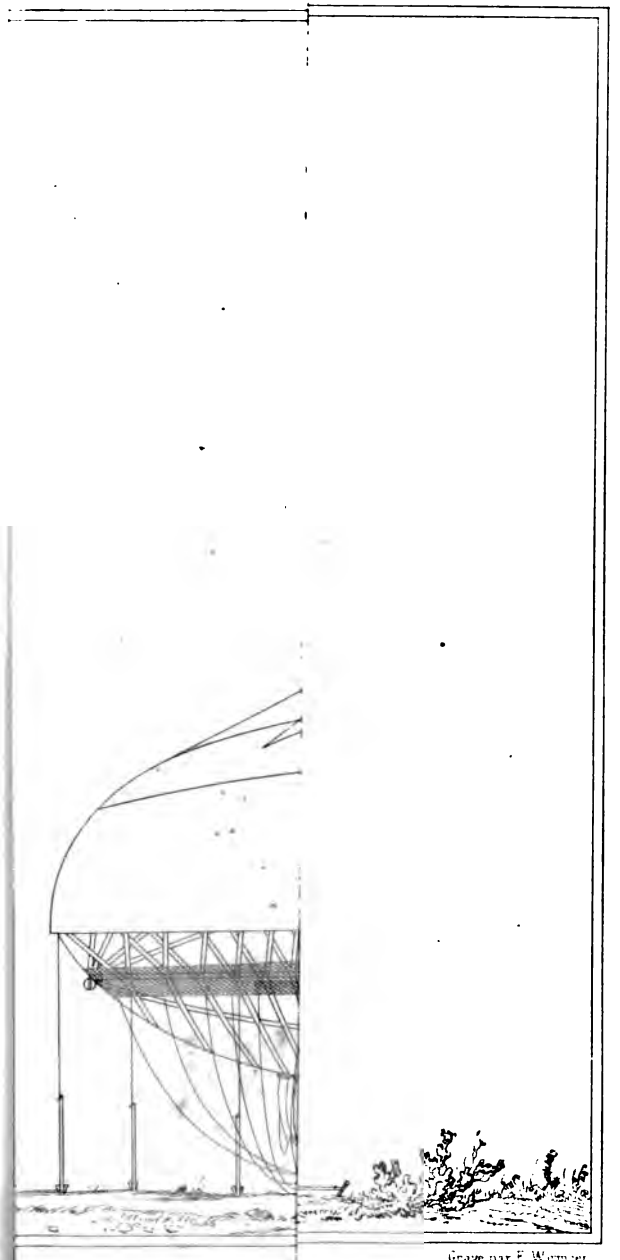
DÉTAILS D'U

d'après le général du

MANŒUV

Le Ballon amené en partie pour être fixé

PL. IX.



Gravé par E. Wormser

DÉTAILS D'UN

d'après le général du g

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Eng 5508.47
Etudes sur l'aerostation,
Cabot Science 005983005
3 2044 092 003 052